

Anna Panasiewicz

Wyższa Szkoła Techniczna, Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk Stosowanych
ul. Rolna 43, 40-555 Katowice
Katowice School of Technology, Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied
Arts, Rolna 43, 40-555 Katowice, Poland

Maciej Rozpondek

Wyższa Szkoła Techniczna, Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk Stosowanych
ul. Rolna 43, 40-555 Katowice
Katowice School of Technology, Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied
Arts, Rolna 43, 40-555 Katowice, Poland
e-mail: maciej.rozpondek@wst.com.pl

s. 111-124

SYSTEM FOTOWOLTAICZNY W PARKU NAUKOWO- TECHNOLOGICZNYM „SILESIA” W KATOWICACH – ASPEKTY ENERGETYCZNO-EKOLOGICZNE

STRESZCZENIE

Scharakteryzowano infrastrukturę techniczno-energetyczną zastosowaną w Parku Naukowo-Technologicznym „Silesia” w Katowicach. Przedstawiono program i wyniki badań systemu fotowoltaicznego. Oszacowano efekty energetyczno-ekologiczne eksploatowanego systemu fotowoltaicznego w Parku Naukowo-Technologicznym „Silesia”.
The technical-energy infrastructure used in the Science and Technology Park „Silesia” in Katowice was characterized. The program and results of the photovoltaic system research are presented. The energy and ecological effects of the operated photovoltaic system in the Science and Technology Park „Silesia” were estimated.

SŁOWA KLUCZOWE

park naukowo-technologiczny, system fotowoltaiczny, efekty energetyczno-ekologiczne

WPROWADZENIE

Parki naukowo-technologiczne tworzą sprzyjające warunki dla jednostek nauki i biznesu do kreowania innowacyjnych rozwiązań oraz nowoczesnych technologii; wsparciu rozwoju regionu oraz kreowaniu nowych, trwałych miejsc pracy, a także transferze wiedzy i komercjalizacji nowoczesnych technologii. W Polsce zgodnie z danymi Polskiej Agencji Inwestycji i Handlu, funkcjonuje 105 parków naukowo-technologicznych - 29 przemysłowych - 15 technologiczno-przemysłowych, technologicznych i przemysłowych. W województwie śląskim zlokalizowano 23 parki naukowo-technologiczne, przemysłowo-technologiczne i przemysłowe. Parki naukowo-technologiczne, w zależności od poziomu ich rozwoju i specyfiki regionu w jakim się znajdują, pełnią różne funkcje. Podstawowym celem parków naukowo-technologicznych i naukowo-technicznych i przemysłowych jest stymulowanie wzrostu lokalnej gospodarki, poprzez wspieranie przedsiębiorczości, innowacyjności oraz dyfuzji technologii między wszystkimi podmiotami, które w nich funkcjonują. W Parku Naukowo-technologicznym „Silesia” Wyższej Szkoły Technicznej w Katowicach zastosowano innowacyjne rozwiązania techniczno-energetyczne i organizacyjne, które zapewniają realizację pro-ekologicznych założeń obowiązującej zasady „3x20” Pakietu energetyczno-klimatycznego Parlamentu Europejskiego mającego na celu realizację założeń Unii Europejskiej dotyczących przeciwdziałania zmianom klimatycznym do 2020 roku, w którym określono trzy najważniejsze cele, czyli:

- ograniczenie o 20% emisji gazów cieplarnianych (w stosunku do poziomu z 1990 roku),
- zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych do 20% w całkowitym zużyciu energii w UE,
- zwiększenie o 20 proc. efektywności energetycznej.

Park Naukowo-Technologiczny „Silesia” Wyższej Szkoły Technicznej w Katowicach spełnia to zadanie także w wyniku wzmocnienia bazy i potencjału naukowego [1-3].

1. CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNO-ENERGETYCZNA ROZWIĄZAŃ STOSOWANYCH W PARKACH NAUKOWO-TECHNOLOGICZNYCH.

Właściwe kształtowanie polityki klimatyczno-energetycznej jest jednym z istotnych wyzwań wynikających z członkostwa w Unii Europejskiej. Poprawa efektywności energetycznej budynków oraz korzystanie z odnawialnych źródeł energii stanowią podstawę dla optymalnego projektowania, budowy i użytkowania budynków. Podstawą osiągnięcia wysokiej efektywności energetycznej jest zastosowanie procesów kogeneracji (Combined Heat and Power), czyli skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w jednej instalacji, przy maksymalnym ograniczeniu strat przesyłowych i transformacji oraz procesy trigeneracji (Combined Heat, Cooling and Power). Jest to najbardziej efektywne wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu w jednej instalacji. Problemem w eksploatacji systemów kogeneracji i trigeneracji jest pełne zagospodarowanie ciepła lub chłodu przy umiarkowanych temperaturach zewnętrznych, w których zapotrzebowanie na ciepło i chłód jest stosunkowo niewielkie. Natomiast, gdy występują bardzo niskie - sezon grzewczy lub w przypadku bardzo wysokich temperatur zewnętrznych - upały w okresie letnim - zapotrzebowanie na ciepło lub chłód zapewnia pełne obciążenie cieplne kogeneratorów. Zestaw źródeł energii dla systemów zaopatrzenia budynków w energię i ciepło obejmuje sposoby:

- konwencjonalne, czyli ciepło z miejskich systemów ciepłowniczych i z lokalnych ciepłowni,

- quasikonwencjonalne, czyli m.in. blokowe urządzenia do produkcji ciepła i energii elektrycznej oparte na silnikach tłokowych i mikro turbinach,
- odnawialne, czyli kolektory słoneczne, pompy ciepła, gruntowe wymienniki ciepła i ogniwa fotowoltaiczne.

W procesach projektowania budynków w parkach naukowo-technologicznych, budynków biurowych i użyteczności publicznej powinno wykorzystywać się przede wszystkim źródła zasobów odnawialnych i układy hybrydowe tj. przy wytwarzaniu energii elektrycznej lub energii elektrycznej i ciepła wykorzystuje się nośniki energii wytwarzane oddzielnie w odnawialnych źródłach energii z możliwością zastosowania paliwa pomocniczego. Podstawową zasadą przy projektowaniu systemów zaopatrzenia budynków w energię elektryczną i ciepło jest ich dostosowanie do lokalnych możliwości pozyskiwania energii ze źródeł [4]. Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w eksploatacji budynków jest ściśle powiązane z obniżeniem emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych do atmosfery. Jest to szczególnie istotne w Polsce, w której udział energii elektrycznej wytworzonej z paliw kopalnych wynosi około 80%, a na cele grzewcze zużywa się około 12 milionów ton węgla kamiennego [5]. Doświadczenia projektowe i eksploatacyjne są wykorzystywane przy modernizacji i rewitalizacji obiektów już istniejących, w tym zabytkowych [6]. W pomieszczeniach biurowych, charakteryzujących się dużymi wewnętrznymi zyskami ciepła oraz dużymi wartościami udziału przegród przezroczystych w powierzchni zewnętrznej budynku bardzo istotne jest określenie zapotrzebowania na chłód, który przy wysokich temperaturach w okresie letnim ma podstawowe znaczenie dla komfortu cieplnego. Ograniczenie działań tylko na pozyskiwaniu energii słonecznej, powoduje konieczność podwyższenia temperatury w pomieszczeniach do 26°C, z trudnością jej zapewnienia [7]. Helioktywne elementy budynku, a szczególnie okna i oszklone przestrzenie buforowe, powinny być wyposażone w kompleksowe, dodatkowe elementy ochrony przed zyskami promieniowania słonecznego, tj.:

- wewnętrzne, czyli żaluzje blaszane oraz rolety tkaninowe i foliowe usytuowane między szybami i wewnątrz pomieszczeń,
- zewnętrzne, czyli osłony - zasłony, markizy, rolety, okiennice, żaluzje, okapy,
- zieleni około budynkowa, czyli drzewa i krzewy liściaste [8-10].

Skuteczność żaluzji wewnętrznych jest relatywnie nieduża i nie przekracza około 30% zysków promieniowania słonecznego. Z tego względu powinno się stosować żaluzje i inne elementy zasłaniające głównie na zewnątrz, których skuteczność może wynosić nawet do 70% zysków promieniowania słonecznego. Tak więc optymalne jest zastosowanie żaluzji wewnętrznych jednocześnie w połączeniu z żaluzjami zewnętrznymi.

Systemy techniczno-energetyczne zastosowane w parkach naukowo-technologicznych przedstawiono m.in. na przykładach:

- Parku Naukowo-Technologicznego Euro-Centrum w Katowicach,
- Wrocławskiego Parku Technologicznego,
- Parku Wodnego w Ełku,
- Parku Naukowo-Technologicznego „Silesia” Wyższej Szkoły Technicznej w Katowicach.

W Parku Naukowo-Technologicznym Euro-Centrum scharakteryzowano dwa budynki: energooszczędny i tradycyjny. Budynek energooszczędny został wykonany zgodnie z założeniami dla budynku energooszczędnego, natomiast w budynku tradycyjnym procesy ogrzewania i chłodzenia są realizowane poprzez klimakonwektory zamontowane w pomieszczeniach, które spełniają dualną rolę, tj. w okresie letnim schładzają, a w sezonie grzewczym utrzymują założoną wartość temperatury powietrza w pomieszczeniu – tabela 1 [9,10]. W 2014 roku w Parku Naukowo-Technologicznym Euro-Centrum w Katowicach oddano do użytku budynek pasywny i instalację fotowoltaiczną,

które uzupełniły zastosowane instalacje odnawialnych źródeł energii w budynku energooszczędnym. Do ogrzewania budynku pasywnego zastosowano pompy ciepła, których sezonowy współczynnik efektywności systemu grzewczego jest wysoki i wyniósł $SPF = 6,25$ co osiągnięto dzięki bardzo dobrej izolacyjności cieplnej przegród i zastosowanym niskotemperaturowym systemem ogrzewania płaszczyznowego. Dane pomiarowe działania pomp ciepła w budynku pasywnym są następnie zbierane i archiwizowane w systemie BMS [11].

Tabela 1. Dane techniczno-eksploatacyjne budynków [9,10]
Table 1. Technical and operational data of buildings [9,10]

Funkcja	Budynek tradycyjny	Budynek energooszczędny
Objętość - V_{netto}	4896 m ³	7910 m ³
Powierzchnia - A	1290 m ²	2404 m ²
$D = A_{bud} / V_{netto}$	0.50 m ⁻¹	0.43 m ⁻¹
Ciepło	Ciepło z PEC	Pompa ciepła oraz ciepło z PEC
System grzewczy	Klimakonwektory w pomieszczeniach, grzejniki na klatkach schodowych	Stropy BKT i ogrzewanie podłogowe OP
System wentylacyjny	Wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna	Wentylacja mechaniczna nawiewno-wywiewna
System chłodzenia	Agregat chłodniczy, klimakonwektory	Stropy BKT
Odzysk ciepła	Centrala wentylacyjna Gold RX	Centrala wentylacyjna Gold RX
Sterowanie	Zintegrowany komputerowy system IQnomic	Zintegrowany komputerowy system IQnomic

We Wrocławskim Parku Technologicznym zastosowano najbardziej efektywny system trigeneracyjny, który może wytwarzać moc elektryczną - 2,8 MWe oraz 3 MW mocy cieplnej z procesów chłodzenia silników gazowych i odzysku ciepła spalin, która może być przekształcana na 2,8 MW mocy chłodniczej. System trigeneracyjny obejmuje:

- dwa silniki tłokowe na gaz ziemny z generatorami synchronicznymi każdy o mocy elektrycznej 1,4 MW,
- dwa kotły odzysknicowe o mocy cieplnej 1,5 MW każdy,
- dwa chłodnicze agregaty absorpcyjne o sprawności termodynamicznej wynoszącej około 80% i wydajności chłodniczej każdy po 1,1 MW,
- dwa sprężarkowe agregaty chłodnicze, każdy o mocy 0,28 MW.

Generatory przyłączone są do sieci rozdzielczej 10 kV i w warunkach normalnych działają synchronicznie z systemem elektroenergetycznym. Wytworzone w systemie trigeneracji ciepło oraz moc chłodnicza wykorzystywane są do ogrzewania i klimatyzacji nowych oraz istniejących budynków Wrocławskiego Parku Technologicznego. Łączna powierzchnia budynków Wrocławskiego Parku Naukowo-Technologicznego wynosi około 40 000 m² powierzchni użytkowej [12].

W Parku Wodnym w Elku zastosowano instalacje i układy: fotowoltaiczną, pozyskiwania energii z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, m.in. siłowni cieplnej o powierzchni kolektorów 571,2 m² i nominalnej mocy 439,3 kW, instalacje odzysku ciepła z wody natryskowej i popłucznej z pompą ciepła o mocy 36 kW. Ponadto zastosowano układ wentylacji nawiewno-wywiewnej z rekuperacją i układem pomp ciepła o sprawności odzysku ciepła z hali basenowej wynoszącej około 85%. Instalacja fotowoltaiczna działała równolegle z siecią elektroenergetyczną bez przekazywania do niej energii, a składała się z czterech segmentów, łącznie - 264 paneli PV, każdy o mocy 190 W o sumarycznej mocy 50,16 kW. Powierzchnia instalacji fotowoltaicznej wynosi A = 340 m². Panele PV zostały ustawione pod optymalnym kątem $\alpha = 40^\circ$. Wytworzoną

w ciągu roku produkcję energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej oszacowano na 47 MWh. Przyjmując średnioroczną wartość promieniowania słonecznego odniesioną do jednostki powierzchni – 1050 kWh/(m²•rok) i uwzględniając usytuowanie instalacji, czyli zwiększoną gęstość mocy promieniowania - oszacowano sprawność paneli PV – $\eta_{PV} = 11,82\%$. Wytworzona z instalacji fotowoltaicznej energia elektryczna pokrywa do 14,98% całkowitego zapotrzebowania na energię elektryczną [13,14].

W Parku Naukowo-Technologicznym „Silesia” Wyższej Szkoły Technicznej w Katowicach w obiekcie zastosowano następujące rozwiązania technologiczne:

- pozyskiwanie energii elektrycznej z ogniw fotowoltaicznych - elektrownia fotowoltaiczna,
- wytwarzanie prądu, chłodu oraz ciepła z gazu w procesie trigeneracji oraz wysokosprawny system odzysku ciepła,
- pełny zintegrowany system zarządzania budynkiem (BMS/SCADA) oraz system Assets Management do zarządzania zasobami w kontekście optymalizacji energetycznej zasobów,
- pełny monitoring on-line zapotrzebowania i zużycia energii elektrycznej, ciepła, chłodu i wody,
- system z ciągłym monitorowaniem komfortu cieplnego oraz parametrów związanych z kosztami eksploatacji,
- okna z automatycznie sterowanymi żaluzjami, zintegrowanymi z systemem pomiaru i kontroli natężenia światła,
- system energooszczędnego oświetlenia z czujnikami natężenia światła,
- system bezpieczeństwa (kontrola dostępu i system sygnalizacji włamania),
- stacja ładowania pojazdów o napędzie elektrycznych (2 stanowiska) [15].

Wybór konkretnych instalacji zastosowanych w PN-T „Silesia” uwarunkowany był kilkoma czynnikami:



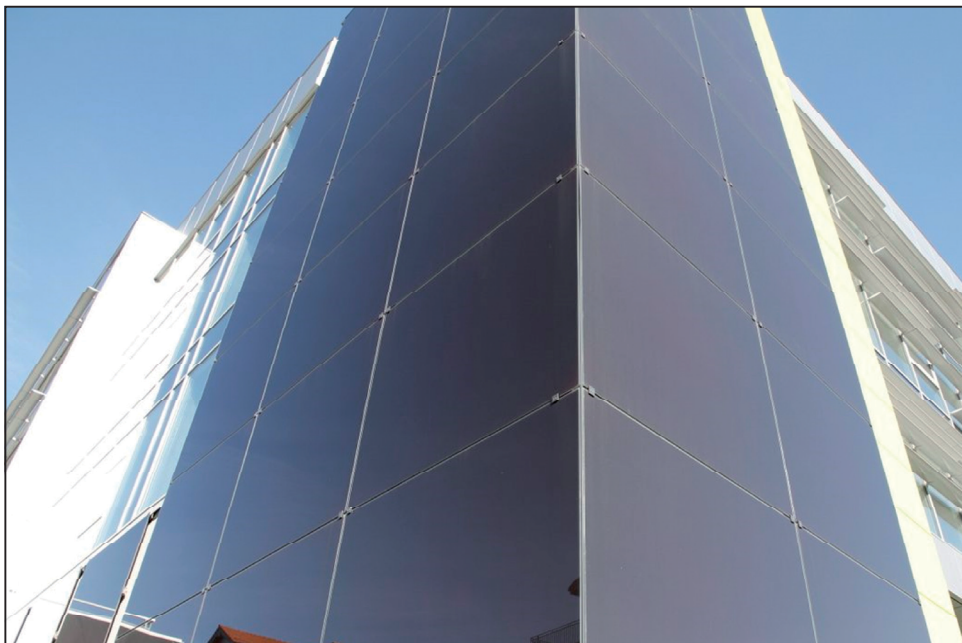
Rys. 1. Fotografia PNT „Silesia” z zainstalowanymi panelami PV (elewacja północno-zachodnia)
Foto. 1. PNT „Silesia” photograph with installed PV panels (north-west elevation)



Rys. 2. Fotowoltaiczna fasada PN-T „Silesia”
Foto. 2. Photovoltaic facade of PN-T „Silesia”



Rys. 3. Fotografia PNT „Silesia” z zainstalowanymi panelami PV (automatyczne rolety zewnętrzne)
Foto. 3. PNT „Silesia” photograph with installed PV panels (automatic external blinds)



Rys. 4. Fotografia PNT „Silesia” z zainstalowanymi panelami PV (narożnik południowo-1 wschodni)
Foto. 4. PNT „Silesia” photograph with installed PV panels (south-east corner)



Rys. 5. Fotografia PNT „Silesia” z zainstalowanymi panelami PV (dach)
Foto. 5. Photographs of PNT „Silesia” with installed PV panels (roof)



Rys. 6. Fotografia PNT „Silesia” z zainstalowanymi panelami PV (duży świetlik)
Foto. 6. Photograph of PNT „Silesia” with installed PV panels (large skylight)

Sumaryczna powierzchnia modułów fotowoltaicznych zainstalowanych w PN-T „Silesia” wynosi – = 1600 m². Średnia, roczna wartość nasłonecznienia dla Katowic – wynosi około 1000 kWh/(m²*rok), zatem wartość energii słonecznej dopływającej do systemów fotowoltaicznych w roku kalendarzowym – wynosi:

Planowana roczna produkcja energii elektrycznej z zainstalowanych modułów PV w Parku Naukowo-Technologicznym Wyższej Szkoły Technicznej w Katowicach – 152 MWh. Cechą zastosowanych nowoczesnych rozwiązań architektonicznych i energetycznych w Wyższej Szkole Technicznej w Katowicach, uczelni o profilu techniczno-artystycznym, jest ich estetyka, która jest także zgodna z wymogami instalacji fotowoltaicznej zintegrowanej z budynkiem BIPV (Building Integrated Photovoltaics). Obiekt, Park Naukowo-Technologiczny „Silesia” w Katowicach, jest wielofunkcyjny i z tego względu zastosowano w nim kompleksowy system BMS/SCADA zbierania, automatycznej regulacji i archiwizacji danych pomiarowych, to jest m.in.:

- monitorowanie komfortu cieplnego,
- czujniki ruchu,
- automatycznie sterowany system rolet zewnętrznych,
- system energooszczędnego oświetlenia z czujnikami natężenia światła,
- automatyka budynkowa.

Instalacja fotowoltaiczna w Parku Naukowo-Technologicznym „Silesia” w Katowicach jest typu „on-grid”, czyli system jest wyposażony w dwa mierniki energii elektrycznej, z których jeden mierzy energię nie wykorzystaną na własne potrzeby i sprzedawaną do sieci, a drugi, standardowy, oblicza energię pobraną z sieci operatora. Jest to najtańsze ze stosowanych rozwiązań, ponieważ nie ma stacji akumulatorów, czyli nie ma możliwości przechowywania energii wytworzonej w panelach fotowoltaicznych. Instalacja fotowoltaiczna typu „on-grid” jest najczęściej stosowanym w praktyce rozwiązaniem technicznym, przede wszystkim ze względu na jej niski koszt inwestycyjny.

2. BADANIA EFEKTYWNOŚCI INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ W PARKU NAUKOWO-TECHNOLOGICZNYM „SILESIA” W KATOWICACH

Badania instalacji fotowoltaicznej w PN-T „Silesia” wykonano dla wyznaczenia efektywności energetycznej konwersji energii słonecznej na energię elektryczną modułów PV w warunkach rzeczywistych i oszacowania efektu ekologicznego zmniejszenia emisji zanieczyszczeń z procesów konwersji energii. Efekt ekologiczny zostanie oszacowany na podstawie wartości wytworzonej energii elektrycznej z systemu PV w stosunku do konwencjonalnego wytwarzaniu energii elektrycznej. W badaniach energetyczno-ekologicznych zostaną wykorzystane następujące dane:

- z systemu BMS/SCADA zawierającego dane dotyczące archiwizacji i aktualnych wskazań systemu monitorowania w wybranych dniach,
- parametry pogodowe nasłonecznienia,
- literaturowe.

Sprawność energetyczna systemu PV zainstalowanego w obiekcie została oszacowana dwoma metodami:

I – z wykorzystaniem danych pogodowych w danym okresie dnia,

II – na podstawie danych literaturowych nasłonecznienia przyjmowanych dla Polski.

W metodzie I – pomiarowej do obliczeń wykorzystano dane wartości nasłonecznienia, na podstawie których wyznaczono sprawność aktualną, chwilową w analizowanym okresie tj. trzech godzin w wybranym dniu i dla pełnego dnia, wybranych dni i całego roku. Zgodnie z przyjętymi założeniami w metodzie I „pomiarowej” możliwe było wstępne oszacowanie wpływu nasłonecznienia na wartość osiąganą w tym okresie sprawności energetycznej. Ze względu na przyjęty zakres pracy nie uwzględniono wpływu temperatury i prędkości wiatru na sprawność.

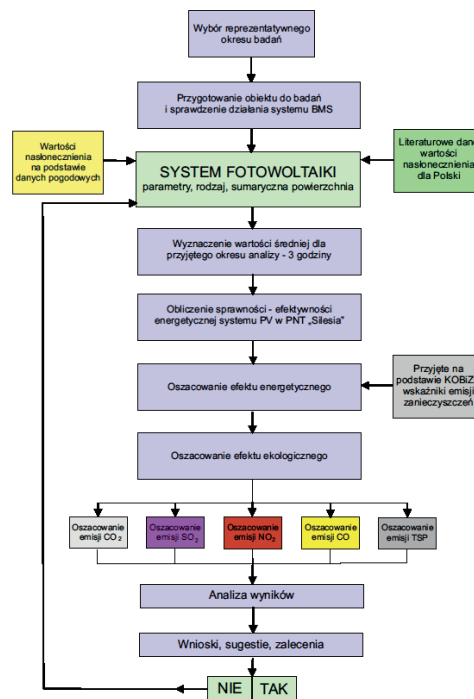
W metodzie II – literaturowej, można tylko w przybliżeniu oszacować całoroczną sprawność energetyczną konwersji energii słonecznej w instalacji fotowoltaicznej na energię elektryczną. Dla Polski wartości nasłonecznienia dla całego roku wynoszą od 950 do 1050 kWh/(m²•rok). Dla Katowic można przyjąć średnią wartość nasłonecznienia równą 1000 kWh/(m²•rok). Dla półrocza letniego, czyli dla miesięcy IV-IX, przyjmuje się około 77%, a dla okresu zimowego X-III około 23% wartości rocznej nasłonecznienia.

W ocenie efektywności i sprawności energetycznej zainstalowanego w PN-T „Silesia” systemu PV należy uwzględnić także jego rzeczywisty czas działania i sposób archiwizacji danych. Do przeprowadzenia badań wybrano reprezentatywne dni miesiąca sierpnia 2017 roku: 20, 23 oraz 30. Przy wyborze reprezentatywnych dni pomiarowych podstawowym kryterium było zróżnicowanie pogodowe, czyli głównie wartości nasłonecznienia. Program badania działania systemu fotowoltaiki (PV) przedstawiono na rys. 6. Przyjęta metodyka badań umożliwiła:

- określenie sprawności energetycznej systemu w analizowanych okresach, czyli trzech godzin, pełnego dnia, wybranych dni i całego roku,
- oszacowanie efektu ekologicznego unikniętej emisji pyłowo-gazowej na podstawie wytworzonej ilości energii elektrycznej.

Należy podkreślić, że działka budowlana, na której znajduje się obiekt badawczy PN-T „Silesia” w Katowicach jest optymalnie usytuowana, ponieważ znajduje się na południowym zboczu wzniesienia, w najbliższym sąsiedztwie jest brak wysokich drzew, od zachodu jest park miejski, a z pozostałych stron jest niska zabudowa mieszkaniowa. Taka lokalizacja zapewnia stabilne działanie systemu PV, gdyż nie występuje efekt zacienienia i wpływa na minimalizację kosztów ogrzewania obiektu. Wyróżnia się dwa rodzaje redukcji emisji zanieczyszczeń: unikniętą i zredukowaną. W przypadku PN-T „Silesia” mamy do czynienia z emisją unikniętą, gdyż jest to budynek nowy, wcześniej

nie eksploatowany, w którym do wytworzenia energii elektrycznej zastosowano fotowoltaiczną konwersję energii słonecznej. Efekt ekologiczny dla analizowanego okresu, czyli wielkość emisji unikniętej zanieczyszczeń pyłowo-gazowych, oszacuje się na podstawie wytworzonej energii elektrycznej i przyjętych wskaźników emisji. Ponieważ źródła literaturowe i internetowe podają różne wartości wskaźników, więc dla określenia emisji danego zanieczyszczenia przyjęto wskaźniki emisyjności z Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami – KOBiZE, czyli z bazy o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancjach – zanieczyszczeniach do atmosfery.



Rys. 6. Schemat programu badań efektywności energetycznej paneli fotowoltaicznych w PN-T „Silesia” w Katowicach
Fig. 6. Scheme of the energy efficiency research program for photovoltaic panels in PN-T „Silesia” in Katowice

Sprawność energetyczną paneli fotowoltaicznych – obliczono, na podstawie danych przedstawionych w tabeli 2, jako stosunek strumieni energii wytworzonej do dopływającej wg wzoru:

$$\eta_{PV} = U \cdot I / Q_{c \text{ prom}}$$

lub w odniesieniu do energii wytworzonej i dopływającej

$$\eta_{PV} = \frac{E_{\text{wytw}PV}}{E_{s1}}$$

gdzie:

U – napięcie prądu w obwodzie ogniwa PV, V,

I – natężenie prądu w obwodzie ogniwa PV, A,

$Q_{c \text{ prom}}$ - strumień energii słonecznej dopływającej do paneli ogniwa, W,

$E_{\text{wytw}PV}$ - energia wytworzona z systemu PV – dane BMS, Wh,

E_{s1} - energia słoneczna dopływająca do paneli określona na podstawie nasłonecznienia

- q (dane pogodowe) oraz powierzchni modułów PV, Wh.

Wartość energii słonecznej dopływającej do powierzchni modułów PV w analizowanym czasie można obliczyć z wzoru:

$$E_{st} = \sum A_{PV} q \cdot \tau$$

gdzie:

A_{PV} – sumaryczna powierzchnia modułów PV, m²,

- nasłonecznienie – gęstość strumienia energii słonecznej, ,

τ – przedział czasowy – okres badań, h.

Ze względu na zastosowaną jednostkę podawania wartości pomiarowych do systemu BMS, czyli trzy godzinny okres zbierania danych pomiarowych, w obliczeniach nasłonecznienia, zastosowano taki sam przedział czasu dla przyjętych, reprezentatywnych dni badań sprawności systemu i wytworzonej energii elektrycznej, czyli odpowiednio sumarycznie dla danego dnia: 6 h – 20.08.2017, 9 h – 23.08.2017 i 30.08.2017. Wartości nasłonecznienia w wybranych, reprezentatywnych dniach przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Dane nasłonecznienia w okresie 20-30 sierpnia 2017 roku w Katowicach, wg metody I, czyli na podstawie danych pogodowych

Table 2. Insolation data in the period August 20-30, 2017 in Katowice, according to method I, i.e. based on weather data

Lp. Data pomiaru (rok, miesiąc, dzień, godziny)	Przedział czasu	Zmiana wartości nasłonecznienia w przedziale czasowym,	Wartość średnia* nasłonecznienia w przedziale,	Uwagi
1. 20.08.2017	6 h	Minimum - 7	54	Godz. 8.00 Godz. 14.00
		Maksimum - 113		
2. 23.08.2017	9 h	Minimum - 76	328	Godz. 17.00 Godz. 12.30
		Maksimum - 846		
3. 30.08.2017	9 h	Minimum - 91	466,5	Godz. 9.00 Godz. 12.45
		Maksimum - 712		

Przeprowadzone w miesiącu sierpniu 2017 roku badania efektywności energetycznej systemu PV po wymianie paneli dla trzech wybranych reprezentatywnych dni umożliwiły oszacowanie następujących wartości sprawności – η_{PV} :

- 20 sierpnia: $\eta_{PV1} = 0,10$,
- 23 sierpnia: $\eta_{PV2} = 0,08$,
- 30 sierpnia: $\eta_{PV3} = 0,07$.

Badania sprawności energetycznych w dniach 20.08 i 23.08 2017 roku zostały wykonane w funkcji nasłonecznienia przy relatywnie niewielkich wartościach natężenia promieniowania tj. odpowiednio 54 i 328 W/m², a w trzecim przypadku wartość średnia wynosiła – 466,5 W/m². Warunki w dniach badań były zbliżone do wymogów efektów termicznych i prędkości wiatru NOCT, natomiast natężenie promieniowania słonecznego było zróżnicowane i w większości okresu pomiarowego było niższe od 400 W/m² [17].

W Parku Naukowo-Technologicznym „Silesia” w systemie fotowoltaicznym wytwarzania energii elektrycznej zastosowano na dachu budynku i w świetlikach moduły polikrystaliczne, natomiast na elewacji zastosowano panele cienkowarstwowe mikromorficzne. W literaturze przyjmuje się, że różnica sprawności pomiędzy modułami polikrystalicznymi a cienkowarstwowymi wynosi średnio około 4% [17-19].

Efekt ekologiczny tj. masy unikniętych emisji zanieczyszczeń na podstawie wyprodukowanej energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej w Parku Naukowo-Technologicznym „Silesia”, można oszacować na podstawie przedstawionych w literaturze wartości wskaźników emisyjności. Masy unikniętych emisji zanieczyszczeń zostały obliczone na podstawie wskaźników podanych przez KOBIZE – Krajowy Ośrodek Bilansowania i Za-

rządzenia Emisjami – tab. 3 [16]. Dla obliczenia nie wyemitowanych mas zanieczyszczeń przyjęto następujące wskaźniki w_i dla energii elektrycznej E_{wytwPV} wyprodukowanej w instalacjach zgodnie ze wzorem:

$$m_i = \sum w_i \cdot E_{\text{wytwPV}}$$

gdzie:

m_i – masa nie wyemitowanego danego zanieczyszczenia pyłowo-gazowego w analizowanym okresie badań, kg,

w_i – wskaźnik emisji zanieczyszczenia gazowego lub pyłowego, kg zanieczyszczenia/MWh.

Przykładowe wyniki oszacowanych, nie wyemitowanych zanieczyszczeń pyłowo-gazowych z Parku Naukowo-Technologicznego „Silesia” w Katowicach przedstawiono dla 20 sierpnia 2017 roku w tabeli 3.

Tabela 3. Oszacowane, wg metody I, nie wyemitowane emisje zanieczyszczeń pyłowo-gazowych z systemu PV PN-T Silesia dla sześciu godzin – 20.08.2017 roku

Table 3. Estimated emissions of dust and gas pollution from the PV PN-T Silesia system for six hours - August 20, 2017, estimated by method I

Zanieczyszczenie pyłowo-gazowe – „i”	Symbol	Wskaźnik emisji – w_i , kg/MWh	Energia wytworzona w systemie PV PN-T w czasie badań, kWh/6 h	Masa nie wyemitowanych zanieczyszczeń, kg/6 h
Ditlenek węgla	CO ₂	810	51,84	41,99
Ditlenek siarki	SO ₂	1,539	51,84	0,08
Ditlenek azotu	NO ₂	0,968	51,84	0,05
Tlenek węgla	CO	0,238	51,84	0,012
Pył całkowity	TSP	0,063	51,84	0,0029

W tabeli 4 przedstawiono oszacowane sumaryczne nie wyemitowane emisje zanieczyszczeń pyłowo-gazowych z systemu PV w Parku Naukowo-Technologicznym „Silesia” wg wskaźników KOBIZE dla energii wytworzonej w miesiącach I-IX w 2017 roku, czyli równej 83,665 MWh.

Tabela 4. Oszacowane nie wyemitowane emisje zanieczyszczeń pyłowo-gazowych z systemu P mated emissions of dust and gas pollutants from the PV PN-T “Silesia” system according to KOBIZE indicators for the ninth months of 2017

Zanieczyszczenie pyłowo-gazowe – „i”	Symbol	Wskaźnik emisji – w_i , kg/MWh	Energia wytworzona w systemie PV PN-T w IX miesiącach 2017 roku, MWh	Masa nie wyemitowanych zanieczyszczeń w IX miesiącach 2017 roku, kg
Ditlenek węgla	CO ₂	810	83,665	67 768,65
Ditlenek siarki	SO ₂	1,539	83,665	128,76
Ditlenek azotu	NO ₂	0,968	83,665	80,99
Tlenek węgla	CO	0,238	83,665	19,91
Pył całkowity	TSP	0,063	83,665	5,27

PODSUMOWANIE

Park Naukowo-Technologiczny „Silesia” WST w Katowicach umożliwiłszy szybszy transfer technologii i innowacyjności wśród przedsiębiorców regionu województwa śląskiego. Zakładana wielkość produkcji energii odnawialnej z systemu PV w PN-T Silesia jest równa – $E_{zakł PN-T} = 152,146$ MWh/rok. Energia wyprodukowana w przez siedem miesięcy (IV-X) 2016 roku wynosiła – $E_{rzecz 7(l+1)} = 79,880$ MWh, a w 2017 roku w miesiącach I-IX: 83,665 MWh.

Oszacowane w badaniach sprawności, przy różnych warunkach pogodowych, są zbliżone do rzeczywistych danych literaturowych dla modułów polikrystalicznych [17-19]. Badania sprawności energetycznej modułu fotowoltaicznego przeprowadzone 30.08.2017 zostały wykonane przy wysokiej temperaturze zewnętrznej – 30°C i praktycznie bez wiatru co miało wpływ na osiągniętą w tych warunkach sprawność energetyczną systemu fotowoltaicznego. Na obliczone wartości sprawności instalacji fotowoltaicznej w PN-T Silesia” mogą mieć wpływ także m.in. zróżnicowane usytuowanie paneli PV oraz okresy faz rozruchu i testowania systemu fotowoltaicznego w PN-T „Silesia” w Katowicach.

Osiągnięty efekt ekologiczny wynikający z wytworzenia energii elektrycznej z systemu fotowoltaicznego zainstalowanego w Parku Naukowo-Technologicznym „Silesia” Wyższej Szkoły Technicznej w istotny sposób poprawia jakość powietrza w Katowicach. Przykładowo, zmniejszenie emisji ditlenku węgla – tab. 4, wyniosło 67,8 Mg w miesiącach I-IX w 2017 roku.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Panasiewicz A.: Praca magisterska. WSB, Dąbrowa Górnicza 2018.
- [2] Rozpondek M.: Warsztaty – Fotowoltaika pod lupą. Materiały szkoleniowe – wpływ nowoczesnych technologii solarnych na środowisko naturalne. Wyższa Szkoła Techniczna, Katowice 24 maja 2017.
- [3] [dostęp: 16.10.2017]. Dostępny w: <http://www.kobize.pl/en/article/pakiet-energetyczno-klimatyczny-ue/id/388/pakiet-2013-2020>.
- [4] Kubski P.: O konieczności rozpatrzenia racjonalnych możliwości wykorzystania wysokoefektywnych alternatywnych systemów zaopatrzenia budynków w energię i ciepło. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2015 (46) nr 1, s. 6 – 10. ISSN: 0137-3676.
- [5] Rozpondek M., Kasprzyk G.: Energetyczno-ekologiczne aspekty zastosowania pompy ciepła w budynku jednorodzinny. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Technicznej w Katowicach. Wydawnictwo WST nr 008, s. 75-86.
- [6] Boroń W., Chomiak A., Smyła J.: Hybrydowa instalacja wykorzystująca OZE do poprawy efektywności energetycznej budynków zabytkowych. W: Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2016 nr 4, s. 146-151. ISSN: 0137-3676.
- [7] Ferdyn-Grygierek J., Baranowski A., Kaczmarczyk J.: Ocena jakości środowiska wewnętrznego i zapotrzebowania na energię do ogrzewania i chłodzenia w energooszczędnym budynku biurowym. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 2009 nr 9, s. 12-17.
- [8] Laskowski L.: Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
- [9] Gil S., Rozpondek M., Grychowski T.: Porównanie warunków cieplnych i jakości środowiska wewnętrznego budynku energooszczędnego z budynkiem tradycyjnym. W: Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2011 (42) nr 11, s. 459 – 465. ISSN: 0137-3676.

- [10] Gil S., Tomeczek J., Rozpondek M.: Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków – zadanie badawcze nr 5: Zoptymalizowanie zużycia energii elektrycznej w budynkach. Politechnika Śląska PBS-5/RM1/2010 – etap 9: „Analiza głównych czynników wpływających na zużycie energii cieplnej w budynkach”.
- [11] Michalak P., Grygierczyk S.: Pompy ciepła w pasywnym budynku biurowym. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2015 (46) nr 10, s. 396 – 398. ISSN: 0137-3676.
- [12] Chorowski M.: Trigeneracja – zalety i ograniczenia. Nowa Energia 2014 nr 4. Dostępny w: http://www.rynek-energii-elektrycznej.cire.pl/pliki/2/chorowski_trigeneracja.pdf.
- [13] Piotrowska-Woroniak J., Załuska W., Woroniak G.: Instalacje fotowoltaiczne w Parku Wodnym w Elku. Część I. W: Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2013 (44) nr 4, s. 148 – 151. ISSN: 0137-3676.
- [14] Piotrowska-Woroniak J., Załuska W., Woroniak G.: Instalacje fotowoltaiczne w Parku Wodnym w Elku. Część II. W: Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2013 (44) nr 5, s. 197 – 199. ISSN: 0137-3676.
- [15] Studium wykonalności projektu Wyższej Szkoły Technicznej w Katowicach w: Inteligentne Sieci Energetyczne (ISE) Parku Naukowo Technologicznego „Silesia” w Katowicach.
- [16] [dostęp: 10.09.2017]. Dostępny w: <http://www.kobize.pl/pl/article/monitorowanie-raportowanie-weryfikacja-emisji/id/318/tabele-wo-i-we>.
- [17] Klugmann-Radziemska E.: Fotowoltaika w teorii i praktyce. Wydawnictwo BTC, Legionowo 2010, s. 62-67, 78-79.
- [18] Jastrzębska G.: Ogniwa słoneczne. Budowa, technologia, zastosowanie. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2013, s.106-109, 188-193.
- [19] Figura R., Zientarski W.: Analiza parametrów pracy modułu fotowoltaicznego. Autobusy. Efektywność transportu, 2016 nr 12, s. 602-611.

PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN THE SCIENCE AND TECHNOLOGY PARK „SILESIA” IN KATOWICE - ENERGETIC AND ECOLOGICAL ASPECTS

KEYWORDS

science and technology park, photovoltaic system, energy and ecological effects