

ANALIZA PORÓWNAWCZA OPŁACALNOŚCI INWESTYCJI W ŹRÓDŁA FOTOWOLTAICZNE

Damian Głuchy

Politechnika Poznańska, Wydział Elektryczny

Streszczenie. Przedstawiono trzy różne rodzaje instalacji opartych na odnawialnych źródłach umożliwiających wytwarzanie energii elektrycznej. Dokonano porównania parametrów technicznych wybranych rozwiązań. Dla wybranych urządzeń generujących energię obliczono jej wartość. Gotowe wyniki mogą pomóc inwestorowi podjąć decyzję o wyborze odpowiedniego dla siebie rozwiązania.

Słowa kluczowe: panel fotowoltaiczny, analiza porównawcza, instalacja PV

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PROFITABILITY OF INVESTMENTS IN THE RENEWABLE ENERGY SOURCE

Abstract. The paper presents three different types of installations based on renewable resources enabling generation of electricity. Was made a comparison of the technical parameters of the selected solutions. For selected generating installations the value of electricity was calculated. Prepared results can help investor to decide to choose the right solution for himself.

Keywords: photovoltaic panel, comparative analysis, PV installation

Wstęp

Na przestrzeni ostatniego dziesięciolecia znaczenie energii elektrycznej pozyskiwanej z odnawialnych źródeł znacznie się zwiększyło. Wynika to przede wszystkim ze wzrastającego deficytu energetycznego na świecie, związanego z intensywnym rozwojem gospodarki. Jednocześnie zauważyć można silne naciski polityczno-społeczne, aby nowo wyprodukowana energia była bardziej ekologiczna. Tym samym wzrasta udział odnawialnych źródeł energii w rynku energetycznym. W zależności od wyboru metody pozyskiwania energii, rozważyć należy wszystkie wady i zalety danego rozwiązania.

W niniejszym artykule skupiono się na określeniu kluczowych czynników determinujących opłacalność inwestycji, opartej na różnego rodzaju technologiach ekologicznego pozyskiwania energii. Przeprowadzono również analizę ekonomiczną wybranych instalacji OZE (odnawialnych źródeł energii).

1. Energetyka odnawialna w Polsce

Naciski na wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych są równie ważne z punktu widzenia ekologii jak ekonomii. Kurczące się zasoby paliw kopalnianych zmuszają poszczególne państwa do rozwoju OZE. Tego typu prace już teraz przynoszą znakomite efekty w postaci zwiększenia efektywności generacji i spadku cen instalacji generacyjnych, co przekłada się na zwiększenie ich wykorzystania na świecie. Również w Polsce (tabela 1) odnotowano wzrost ilości energii oraz udziału OZE w sumarycznym zużyciu energii elektrycznej.

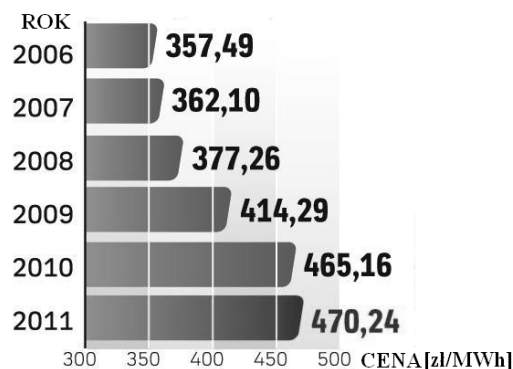
Tabela 1. Udział energii elektrycznej z OZE w krajowym zużyciu energii elektrycznej brutto w latach 2005-2009 [5]

| | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Produkcja energii elektrycznej w OZE [TWh] | 3,761 | 4,222 | 5,230 | 6,447 | 8,594 |
| Zużycie energii elektrycznej w Polsce [TWh] | 145,7 | 150,8 | 154,0 | 153,4 | 149,5 |
| Udział energii elektrycznej wytworzonej w OZE [%] | 2,58 | 2,80 | 3,40 | 4,20 | 5,75 |

Odpowiada to polityce energetycznej, jaką Polska przyjęła od roku 2030. Zakłada ona, że zwiększenie niezależności Polski od dostaw energii z zagranicy w dużym stopniu uzyskana zostanie poprzez rozwój energetyki odnawialnej. Ponadto wykorzystanie OZE zwiększy stopień dywersyfikacji źródeł energii oraz stworzy warunki do rozwoju energetyki rozproszonej opartej na lokalnie

dostępnych surowcach. Stworzenie wielu niewielkich jednostek wytórczych, będących w bliskim otoczeniu odbiorcy, nie tylko podniesie lokalne bezpieczeństwo energetyczne, ale przede wszystkim zmniejszy straty przesyłowe. Tym samym „rozwój energetyki odnawialnej ma istotne znaczenie dla realizacji podstawowych celów polityki energetycznej” Polski [2, 4].

Niestety, choć raporty i prognozy dotyczące generacji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych są niezwykle optymistyczne, to z punktu widzenia ostatniego dziesięciolecia można mieć mieszane uczucia. Wbrew ogólnym zapewnieniom i poparciom dla OZE, sposoby i zasady finansowania tego typu energii ciągle się zmieniają. Kształtowanie się cen energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych i zielonych certyfikatów przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Cena energii z odnawialnych źródeł i zielonych certyfikatów w Polsce [10]

2. Pozyskiwanie energii z systemów fotowoltaicznych

Wszystkie układy bazujące na metodzie helioelektrycznej pozyskiwania energii słonecznej uzależniają swoją sprawność od nasłonecznienia na danym obszarze. Największe ilości energii promieniowania słonecznego przypadające na jeden metr kwadratowy, z uwagi na dłuższy czas dobowego nasłonecznienia, zaobserwowano w strefie umiarkowanej około 40-go stopnia szerokości geograficznej. Jak wykazano we wcześniejszej pracy [1] natężenie promieniowania jest powiązane zarówno z położeniem geograficznym jak i z porą roku. W przypadku Polski panują korzystne warunki do montażu instalacji fotowoltaicznej. Roczna wartość natężenia promieniowania, w zależności od regionu, waha się od ponad 900 do prawie 1100 kWh/m² [3].

Rozkład całkowitego natężenia promieniowania przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Całkowite nasłonecznienie Polski [7]

3. Kryteria doboru i konfiguracji instalacji PV

Rozpatrując instalacje wyposażone w odnawialne źródła energii, należy uwzględnić wiele czynników determinujących długą i poprawną, a przede wszystkim wydajną pracę. Dobierając elementy takiego układu, oprócz określenia sposobu wykonania ogniw fotowoltaicznych, należy uwzględnić pozostałe czynniki takie jak:

- powierzchnia do montażu ogniwa,
- wielkości produkowanej energii,
- zapotrzebowanie energetyczne urządzeń,
- sposób wykorzystania energii.

Powyższe kryteria muszą być dobrane z uwzględnieniem najważniejszego czynnika, czyli sposobu współpracy instalacji z siecią elektroenergetyczną.

Wyróżnia się następujące rodzaje systemów:

System on-grid (podłączone do publicznej sieci)

System oddaje w całości wygenerowaną energię elektryczną do sieci publicznej poprzez osobny licznik. Energia niezbędna do funkcjonowania obiektu pobierana jest poprzez drugi licznik wprost z sieci elektroenergetycznej. Rozliczanie z zakładem energetycznym następuje poprzez wystawienie faktury na podstawie wskazań obydwu liczników. Rozwiązanie tego typu najczęściej stosowane jest przez duże elektrownie słoneczne [9].

System off-grid (autonomiczny)

System ten nie posiada podłączenia do publicznej sieci, a wytworzona energia zostaje zmagazynowana najczęściej w akumulatorach. Produkuje on energię dla poszczególnych odbiorników przy założeniu odpowiedniego przewymiarowania generacji. System off-grid ma zastosowanie przy małym zużyciu energii lub w przypadku braku możliwości podłączenia sieci elektroenergetycznej [8].

System autonomiczny z podłączeniem do sieci publicznej

Obecnie system ten jest najczęściej stosowany ze względu na połączenie pewności zasilania z oszczędnością. Energia z paneli fotowoltaicznych magazynowana jest w akumulatorach, a następnie poprzez inwerter zamieniana jest na napięcie przemienne 230V, zasilając odbiorniki prądu. W przypadku braku energii z systemu fotowoltaicznego następuje automatyczne przełączenie na zasilanie z publicznej sieci AC [8].

Dobór odpowiedniego systemu pracy źródeł fotowoltaicznych z uwzględnieniem charakterystyki odbioru określa poziom opłacalności inwestycji. Dlatego też, przed przystąpieniem do zakupu gotowej instalacji generującej energię elektryczną, należy rozważyć wszystkie argumenty w rozważanej sytuacji.

4. Porównanie danych technicznych przykładowych instalacji opartych na PV

Na rynku można znaleźć wielu producentów i ofert sprzedaży kompletnych instalacji opartych na panelach fotowoltaicznych. Różnią się one nie tylko mocami i technologiami produkcji ogniw, lecz także sposobami współpracy z siecią elektroenergetyczną czy też możliwością magazynowania energii. Mnogość ofert wraz z poprawnym uwzględnieniem warunków pracy pozwala wybrać takie rozwiązanie, które będzie najbardziej korzystne nie tylko z punktu widzenia energetycznego, lecz przede wszystkim finansowego.

Do analizy porównawczej wybrano trzy kompletne instalacje różnych producentów. W tabeli 2 zostały zebrane ich podstawowe parametry.

Tabela 2. Dane techniczne poszczególnych instalacji fotowoltaicznych [11, 12]

| | WARIANT I | WARIANT II | WARIANT III |
|---|---|--|--|
| | Elektrownia słoneczna on-grid 4 kW KANEKA | Zestaw zasilania sieciowego on-grid 2,35kW | Zestaw autonomicznego zasilania 0,94kW |
| Specyfikacja zestawu | 42 × moduły KANEKA HB95 | 10 × moduły Vet P 235Wp | 4 × moduły Vet P 235Wp |
| | falownik KACO Powador 4202 | inwerter SMA SB 2100TL | inwerter Victron Energy C24/1600 |
| | | | 2 × akumulatory 220Ah |
| | | | regulator ładowania CXN 40 |
| Technologia wykonania | krzem amorficzny | krzem polikrystaliczny | |
| Wymiary moduły fotowoltaicznego [mm] | 1210×1008×40 | 1685×993×50 | |
| Gwarantowana nominalna moc baterii słonecznych [kW] | 3,99 | 2,35 | 0,94 |
| Szacowana roczna produkcja energii [kWh] | 4100 | 2232,5 | 893 |
| Napięcie sieci [V] | 230 | | |
| Częstotliwość sieci [Hz] | 50 | | |
| Tryb pracy | on-grid; całość energii do sieci | on-grid; energia na potrzeby własne | off-grid; energia tylko na potrzeby własne |
| Cena [zł] | 28 597,50 | 28 000,00 | 18 950,00 |

W dalszej części pracy poszczególne instalacje będą określane mianem WARIANT I, WARIANT II, WARIANT III; adekwatnie do nazw przyjętych w tabeli.

WARIANT I to rozwiązanie firmy „iTech” o nazwie „Elektrownia słoneczna on-grid 4kW KANEKA” [12]. Elementy tej instalacji przedstawiono na rysunku 3. Instalacja ta pracuje w trybie on-grid. Powyższy zestaw składa się z 48 paneli fotowoltaicznych, falownika oraz niezbędnego okablowania. Zrezygnowano jednocześnie z jakiegokolwiek magazynu energii w postaci akumulatorów, przyjmując jednocześnie, że praca układu będzie odbywała się w trybie bezpośredniego podłączenia do sieci. Układ zbudowany z modułów fotowoltaicznych (KANEKA HB95) o mocy 95 Wp każdy i wymiarach 1,21 × 1 m daje moc około 4 kW. Ogniwa wykonane są z krzemu amorficznego, dzięki czemu uzyskano optymalne wykorzystanie energii słonecznej, przy bezpośrednim jak i przy rozproszonym promieniowaniu. Budowa instalacji przewiduje oddawanie całości wyprodukowanej energii do sieci.

Producent zestawu gwarantuje generację mocy na poziomie co najmniej 90 % po 12 latach i 80 % po 25 latach eksploatacji. Szacowana przez producenta roczna produkcja energii określana jest na około 4100 kWh.



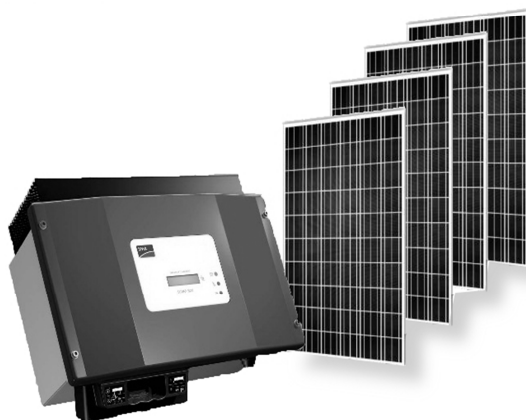
Rys. 3. Elekrownia słoneczna on-grid 4kW KANEKA [12]

WARIANT II to rozwiązanie firmy „ROTERO” o nazwie „Zestaw zasilania sieciowego on-grid 2,35kW” [11]. Instalacja ta, podobnie jak poprzednia, pracuje w trybie on-grid, z tą różnicą, że wyprodukowaną energię, w zależności od potrzeb, wykorzystuje w obiekcie, z którym współpracuje. Ewentualne nadwyżki są oddawane do sieci. System uniezależnia konsumenta od dostawców zewnętrznych energii w przypadku optymalnej pracy zestawu, a w momencie deficytu słonecznego prąd pobierany jest z sieci. Instalację tą przedstawiono na rysunku 4.

Układ zbudowany z modułów fotowoltaicznych (Vet P 235Wp) o mocy 235 Wp każdy i wymiarach $1,685 \times 0,993$ m daje moc około 2,35 kW.

Szacowana przez producenta roczna produkcja energii określana jest na około 2232,5 kWh.

ROTERO
SYSTEMY SOLARNE
KANEKA



Rys. 4. Zestaw zasilania sieciowego on-grid 2,35kW [11]

WARIANT III to również rozwiązanie firmy „ROTERO”- „Zestaw autonomicznego zasilania 0,94kW” [11], bo pod taką nazwą figuruje w ofercie, jest typowym układem typu off-grid. Zbudowany z czterech paneli „Vet P 235Wp” daje moc około 0,94 kW. Posiada również magazyn energii w postaci dwóch akumulatorów 220Ah Victron Energy VRLA. Wykonanie w technologii AGM, zapewnia odporność na głębokie cykle

rozładowań i długą żywotność. Ponadto charakteryzują się one niską wartością samo-rozładowania. Przedstawiona instalacja zapewnia całkowitą niezależność energetyczną przy uwzględnieniu poprawnego doboru sieci odbiorczej i specyfikacji produktów. Zestaw o mocy 0,94 kW pozwala uzyskać 893,0 kWh w skali roku.

Awaryjnie, przy uwzględnieniu wcześniejszej możliwości podłączenia do sieci, specyfikacja systemu pozwala na doładowanie magazynów energii w momencie bardzo dużego zapotrzebowania. Dzięki temu wyeliminowane zostały braki w dostawie energii. Elementy składowe tej instalacji przedstawiono na rysunku 5.

ROTERO
SYSTEMY SOLARNE
KANEKA



Rys. 5. Zestaw autonomicznego zasilania 0,94kW [11]

5. Analiza opłacalności wybranych instalacji

W rozważaniach, w celu uproszczenia, pominięto zarówno wszelkie formy dodatkowego finansowania tego rodzaju inwestycji jak i koszty związane z jej eksploatacją na przestrzeni 25 lat.

WARIANT I, oparty na amorficznych panelach fotowoltaicznych, przeznaczony jest do pracy w trybie oddawania całości energii do sieci. Cały zestaw gwarantuje generację mocy na poziomie co najmniej 90 % po 12 latach i 80 % po 25 latach eksploatacji. Szacowana przez producenta roczna produkcja energii określana jest na około 4,1 MWh. Zakładając, że rozpatrywana instalacja będzie pracowała nieprzerwanie przez 25 lat, z uwzględnieniem zmniejszania generowanej mocy co roku o 1 % do wcześniej przedstawionych progów gwarantowanych, wygeneruje ona w przybliżeniu ponad 91 MWh. Przy cenie energii (z odnawialnych źródeł i zielonych certyfikatów z 2011 roku) na poziomie 470,24 zł/MWh, inwestycja wygeneruje blisko 43 tys. zł. zysku.

Koszt analizowanego zestawu to wydatek nieprzekraczający 30 tys. zł. Należy jednak pamiętać, że polityka energetyczna Polski w ostatnim dziesięcioleciu ulegała znacznym zmianom. Tym samym dotacje na energię ze źródeł odnawialnych mogą się jeszcze wielokrotnie zmienić, zarówno na korzyść, jak i niekorzyść inwestora.

WARIANT II oparty na panelach wykonanych z ogniw polikrystalicznych, przeznaczony jest do generacji energii przede wszystkim na potrzeby własne. Nadwyżki zostają przesłane do sieci, natomiast wszelkie niedobory muszą być uzupełniane poprzez zakup energii od dystrybutora.

Cały zestaw gwarantuje generację mocy na poziomie co najmniej 90 % po 10 latach i 80 % po 25 latach eksploatacji. Szacowana przez producenta roczna produkcja energii określana jest na około 2,2325 MWh. Zakładając jak poprzednio, że rozpatrywana instalacja będzie pracowała nieprzerwanie przez 25 lat, z uwzględnieniem zmniejszania generowanej mocy co roku

o 1% do wcześniej przedstawionych progów gwarantowanych, wygeneruje ona w przybliżeniu prawie 50 MWh. Wartości tej energii nie można jednoznacznie określić, co wynika przede wszystkim z charakteru instalacji. W najmniej opłacalnym scenariuszu całość wygenerowanej energii będzie odsprzedawana do sieci co wygeneruje zysk na poziomie ponad 23 tys. zł. Jeśli natomiast rozważana instalacja będzie tak dobrana do obiektu, że całość wygenerowanej energii będzie wykorzystywana, to na jej wartość będzie składała się w przybliżeniu cena energii elektrycznej oraz opłata za usługę dystrybucji. Przyjmując, łączną oszczędność na każdej kWh na poziomie 0,55 zł/kWh [7] oraz uwzględniając coroczny wzrost ceny energii elektrycznej o 6%, wyprodukowana energia będzie warta prawie 45 tys. zł. Jak wynika z powyższych obliczeń opłacalność inwestycji w dużej mierze zależy od poprawnego doboru instalacji do zasilanego obiektu.

Koszt analizowanego zestawu to wydatek 28 tys. zł.

WARIANT III oparty na strategii autonomicznego zasilania obiektu ma najgorszą relację ceny do ilości wytworzonej energii. Jego główną zaletą jest natomiast możliwość gromadzenia energii oraz jej wykorzystania w innym dowolnym momencie. Postępując w obliczeniach analogicznie jak w poprzedniej instalacji, tzn. uwzględniając zmniejszenie sprawności oraz oszczędność na kosztach wytworzenia i dystrybucji energii; okazuje się, że inwestycja pozwoli wygenerować energię wartą blisko 19 tys. zł. Wartość ta jest identyczna z kosztami przedsięwzięcia co, uwzględniając spadek wartości pieniądza, sprawia, że inwestycja wydaje się być nieopłacalna. Oczywiście, w przypadku autonomicznego systemu zasilania, należy pamiętać o oszczędnościach związanych z kosztami przyłącza, które często zniechęcają. Należy również uwzględnić przypadek, w którym brak jest jakiegokolwiek możliwości dostępu do sieci elektroenergetycznej. W takich okolicznościach jedynym sposobem dostarczenia energii jest układ typu off-grid.

6. Wnioski

Kryzys energetyczny, jaki ma miejsce w ostatnich latach, skłania do inwestowania w odnawialne źródła energii. Spory potencjał tkwi w ogniwach fotowoltaicznych i ich odpowiednim wykorzystaniu. Zarówno producenci jak i użytkownicy zaczynają dostrzegać korzyści z generacji przyjaznej środowisku. Dodając do tego dynamiczny rozwój technologii związanej z odnawialnymi źródłami i zwiększenie sprawności ich generacji, uzyskuje się kompletne instalacje, których opłacalność stale rośnie.

Przedstawione rozważania potwierdzają, jak wielkie znaczenie ma dobór odpowiedniego sposobu zasilania z ogniw fotowoltaicznych w stosunku do układu wykorzystującego energię. Wymienionym instalacjom można przypisać szereg zalet i wad, których świadomość przekłada się na większą opłacalność inwestycji.

WARIANT I to instalacja stosunkowo prosta w swej konstrukcji, pozwalająca wygenerować sporą ilość energii. Takie rozwiązanie jest idealne dla wszystkich osób, które chcą zainwestować swoje oszczędności i mieć pewny zwrot kapitału. Choć nie istnieje możliwość bezpośredniego korzystania z generowanej energii, to dzięki „zielonym certyfikatom” zyskuje się gwarancję jej dalszej odsprzedaży na wiele lat. Po uruchomieniu tego typu instalacji obowiązki inwestora sprowadzają się praktycznie tylko do okresowych przeglądów.

WARIANT II pozyskiwania energii już na wstępie wymaga odpowiedniego doboru układu odbiorczego. Jak wynika z obliczeń, największą opłacalność uzyskuje się, gdy całość wytworzonej energii zostaje spożytkowana na potrzeby własne. Analizując uzysku energii ze źródeł fotowoltaicznych w skali roku zauważyć można, że idealny odbiór będzie cechował się dużym zapotrzebowaniem na moc w okresie letnim w godzinach około-południowych. Ponadto instalacja pozwala bilansować wszelkie niedobory i nadwyżki energii z siecią elektroenergetyczną. Jak widać, opłacalność, w tym przypadku uzależniona od wielu czynników będzie się dynamicznie zmieniać.

WARIANT III instalacji już podczas wstępnych obliczeń znalazł się poniżej proggu opłacalności. Należy jednak uwzględnić kilka czynników działających na korzyść takiej inwestycji. Przede wszystkim powstają oszczędności związane z kosztami przyłączenia do sieci elektroenergetycznej. Jednocześnie uzyskuje się niezależność energetyczną. Oczywiście pozostaje jeszcze wiele problematycznych kwestii takich jak: odpowiedni dobór instalacji odbiorczej, stały monitoring zużywanej energii czy też konieczność uzupełniania niedoborów energii innymi źródłami. Nie zmienia to faktu, że w przypadku braku możliwości przyłączenia do sieci elektroenergetycznej istnieje możliwość pozyskiwania energii praktycznie w tej samej cenie, a w znacznie bardziej ekologiczny sposób.

Przedstawione informacje mogą posłużyć potencjalnym inwestorom do wykonania oceny techniczno-ekonomicznej instalacji fotowoltaicznej różnego typu.

W pracy nie poruszono zagadnień związanych z dodatkowymi formami finansowania instalacji odnawialnych źródeł energii.

Literatura

- [1] Gluchy D., Kurz D., Trzmiel G.: Analiza opłacalności inwestowania w małe elektroniczne pracujące w trybie on-grid. Materiały Konferencyjne XXXV konferencji Podstaw Elektrotechniki i Teorii Obwodów. Ustroń 23-26 maja 2011 roku, s. 163-164.
- [2] Kowalska A., Wilczyński A., Źródła rozproszone w systemie elektroenergetycznym. KAPRINT, Lublin 2007.
- [3] Tytko R.: Odnawialne źródła energii. OWG, Warszawa 2011.
- [4] Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2011.
- [5] Raport określający cele w zakresie udziału energii elektrycznej wytwarzanej w odnawialnych źródłach energii znajdujących się na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, w krajowym zużyciu energii elektrycznej na lata 2010-2019. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa 2011.
- [6] <http://solaris18.blogspot.com> 29.05.2011 r.
- [7] <http://www.enea.pl> dn. 15.05.2012r.
- [8] <http://www.fachowelektryk.pl> dn. 29.05.2011r.
- [9] <http://www.solarus.pl> dn. 29.05.2011r.
- [10] <http://www.rp.pl/artukul/649267.html> dn. 27.04.2011r.
- [11] <http://sklep.rotoro.pl> dn. 16.05.2011r.
- [12] <http://sg-systems.pl> dn. 22.05.2011r.

Mgr inż. Damian Gluchy

e-mail: damian.gluchy@put.poznan.pl

Obszarem zainteresowań autora są tematy związane z zasilaniem budynków inteligentnych oraz odnawialnymi źródłami energii. Szczególną uwagę skupia na systemach zasilania hybrydowego złożonego z turbin wiatrowych oraz systemów PV. Jako student Studiów Doktoranckich na kierunku Nowoczesna Inżynieria Elektryczna i Informatyczna oraz pracownik Instytutu Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej zaprezentował wiele ciekawych publikacji na konferencjach krajowych i międzynarodowych.

