

Rada Doskonałości Naukowej
00-901 Warszawa, pl. Defilad 1
Dział Kancelaryjny
WPEŁYNEŁO (RPW)

03.11.2022

22.400.136.2022

Podpis	Zel
--------	-----



Politechnika Warszawska
Wydział Mechaniczny Energetyki i I
ul. Nowowiejska 24, 00-665 Warszawa
(nazwa i dane adresowe podmiotu habilitacji
wybranego do przeprowadzenia postępowania
za pośrednictwem:



Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Mariusz Tomasz Sarniak

.....
(imię i nazwisko wnioskodawcy)

Politechnika Warszawska Filia w Płocku
Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii
Instytut Inżynierii Mechanicznej
09-400 Płock, ul. Łukasiewicza 17

.....
(miejsce pracy/jednostka naukowa)

Wniosek

z dnia 03.11.2022 r.

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie¹ *inżynieria środowiska,*
górnictwo i energetyka.

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia
doktora habilitowanego:

Jednotematyczny cykl publikacji pod wspólnym tytułem:
„Badania modelowe i eksploatacyjne systemów fotowoltaicznych”,
na który składa się monografia naukowa oraz zestaw 11-tu artykułów naukowych

Wnioskuje – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie
wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała
uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **tajnym/jawnym***²

Zostałem poinformowany, że:

Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w
sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej

¹ Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września
2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz.
1818).

² * Niepotrzebne skreślić.

z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).

Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu. Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art. 232 - 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenia postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html



.....
(podpis wnioskodawcy)

Załączniki (2 nośniki USB):

1. Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia naukowego doktora
2. Dane wnioskodawcy
3. Autoreferat
4. Wykaz osiągnięć naukowych
5. Wersja elektroniczna składników przedłożonego osiągnięcia naukowego
6. Wersje elektroniczne poświadczeń ważniejszych osiągnięć naukowych i organizacyjnych



**Wydział Budownictwa,
Mechaniki i Petrochemii
w Płocku**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Autoreferat

dr inż. Mariusz Tomasz Sarniak

(ORCID: 0000-0001-6729-921X)



Płock, 2022

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.....	3
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy	4
4.1. Wykaz składników osiągnięcia naukowego	4
4.2. Geneza, cel i zakres badań.....	6
4.3. Metodologia w realizowanych badaniach.....	8
4.4. Syntetyczny opis otrzymanych wyników badań	16
4.5. Utylitaryzm wyników wykonanych badań	37
4.6. Podsumowanie najważniejszych cech składników osiągnięcia naukowego	39
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej	42
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.	43
7. Inne ważne informacje, dotyczące kariery zawodowej wnioskodawcy.....	44

1. Imię i nazwisko

Mariusz Tomasz Sarniak

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- 2.1. Dyplom uzyskania *stopnia naukowego doktora nauk technicznych* w zakresie *budowy i eksploatacji maszyn* nadany uchwałą Rady Wydziału Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej z dn. 16.12.1997 r. na podstawie przedstawionej rozprawy doktorskiej pt. „*Metoda szacowania skuteczności obłuskiwania nasion rzepaku*”. Promotorem był prof. dr hab. inż. Leszek Mieszkalski – z Wydziału Nauk Technicznych Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie [kopia dyplomu w załączeniu do wniosku].
- 2.2. Dyplom ukończenia studiów wyższych i uzyskanie *tytułu magistra inżyniera* na kierunku *mechanika i budowa maszyn* na Wydziale Budownictwa i Maszyn Rolniczych Politechniki Warszawskiej w roku 1994.
- 2.3. Świadectwo ukończenia z wyróżnieniem *Liceum Ogólnokształcące* im. Tadeusza Kościuszki w Gostyninie *o profilu matematyczno-fizycznym* w roku 1989.
- 2.4. Ukończone w roku 1994 *studia podyplomowe w zakresie pedagogiki kształcenia zawodowego* na Wydziale Budownictwa i Maszyn Rolniczych Politechniki Warszawskiej.
- 2.5. Ukończone w roku 1995 *studia podyplomowe w zakresie komputerowo wspomaganego projektowania maszyn* na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej.
- 2.6. Ukończone w roku 2003 *studia podyplomowe w zakresie rzeczoznawstwa pojazdów i maszyn* na Wydziale Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

- 3.1. W latach: 1993-1994 - *asystent stażysta* na Wydziale Budownictwa i Maszyn Rolniczych Politechniki Warszawskiej.
- 3.2. W latach: 1994-1998 - *asystent* na Wydziale Budownictwa i Maszyn Rolniczych Politechniki Warszawskiej.
- 3.3. W latach: 1999-2005 - *nauczyciel akademicki* w Szkole Wyższej im. Pawła Włodkowica w Płocku (umowa cywilno-prawna).
- 3.4. Od roku 1998 i nadal – *adiunkt* (w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych) na Wydziale Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej Filii w Płocku.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy

Przedłożono do oceny dorobku osiągnięć naukowe, stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*, w dziedzinie *nauk inżyniersko-technicznych*, według art. 219 ust. 1 pkt 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.), określone jako:

**Jednotematyczny cykl publikacji pod wspólnym tytułem:
„Badania modelowe i eksploatacyjne systemów fotowoltaicznych”,
na który składa się monografia naukowa (art. 219 ust. 1 pkt 2a) oraz zestaw
11-tu artykułów naukowych (art. 219 ust. 1 pkt 2b)**

4.1. Wykaz składników osiągnięcia naukowego

(pełne wersje elektroniczne publikacji zamieszczono na nośniku USB w załączniku nr 5 do wniosku - nazwy plików rozpoczynają się od oznaczeń publikacji w autoreferacie: M1; A1;...;A11)

I. Monografia naukowa:

[M1] Sarniak M.T. „*Systemy Fotowoltaiczne*”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2019. 158 s. ISBN: 978-83-7814-926-2.

(80 pkt wg MEiN)

Recenzenci wydawniczy: prof. dr hab. inż. Dorota Chwieduk
prof. dr hab. inż. Andrzej Chochowski

II. Cykl 11-tu artykułów naukowych, w skład którego wchodzi:

[A1] Sarniak M.T. „*Simulation Model of PV Module Built from Point-Focusing Fresnel Radiation Concentrators and Three-Junction High-Performance Cells*”. Applied Sciences-Basel (ISSN: 2076-3417. IF: 2.679). 2022; 12(2): 1-11. DOI: [10.3390/app12020806](https://doi.org/10.3390/app12020806).

(100 pkt wg MEiN)

[A2] Sarniak M.T. „*The Efficiency of Obtaining Electricity and Heat from the Photovoltaic Module under Different Irradiance Conditions*”. Energies (ISSN: 1996-1073. IF: 3.004). 2021; 14(24): 1-14. DOI: [10.3390/en14248271](https://doi.org/10.3390/en14248271).

(140 pkt wg MEiN)

[A3] Sarniak M. „*Analiza efektywności energetycznej oraz rozkładu mocy wyjściowej falownika dla mikroinstalacji fotowoltaicznej w aspekcie procesu projektowania*”. Rynek Energii (ISSN: 1425-5960. IF: 0,626). 2020; 2(147): 37-43.

(70 pkt wg MEiN)

- [A4] Sarniak M.T. „*Modeling the Functioning of the Half-Cells Photovoltaic Module under Partial Shading in the Matlab Package*”. *Applied Sciences-Basel* (ISSN: 2076-3417. IF: 2.679). 2020; 10(7): 1-12. DOI: [10.3390/app10072575](https://doi.org/10.3390/app10072575).
(100 pkt wg MEiN)
- [A5] Sarniak M.T. „*Researches of the Impact of the Nominal Power Ratio and Environmental Conditions on the Efficiency of the Photovoltaic System: A Case Study for Poland in Central Europe*”. *Sustainability* (ISSN: 2071-1050. IF: 3.251). 2020; 12(15): 1-15. DOI: [10.3390/su12156162](https://doi.org/10.3390/su12156162).
(100 pkt wg MEiN)
- [A6] Sarniak M.T., Wernik J., Wołosz K.J. „*Application of the Double Diode Model of Photovoltaic Cells for Simulation Studies on the Impact of Partial Shading of Silicon Photovoltaic Modules on the Waveforms of Their Current–Voltage Characteristic*”. *Energies* (ISSN: 1996-1073. IF: 3.004). 2019; 12(12): 1-10. DOI: [10.3390/en12122421](https://doi.org/10.3390/en12122421).
(140 pkt wg MEiN)
- Wkład autorów: Koncepcja pracy, M.T.S.; metodologia, M.T.S.; badania eksperymentalne, M.T.S.; badania symulacyjne, M.T.S.; napisanie - przygotowanie pierwotnego projektu artykułu, M.T.S.; napisanie – ustosunkowanie się do recenzji i edycja końcowa, M.T.S., J.W., i K.J.W.; wizualizacja, M.T.S.; autor korespondencyjny, K.J.W.; pozyskanie funduszy, J.W. i K.J.W. (wkład autorów jest zamieszczony w treści publikacji)
- [A7] Sarniak M. „*Application of the Matlab package to study the effect of partial shading of the photovoltaic modules to the waveforms current-voltage characteristics*”. In: Stanek W., Gładysz P., Werle S., Adamczyk W., eds. [Proceedings of 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems](#) (ECOS 2019). 2019: 2593-2604. ISBN: 978-83-61506-51-5.
(20 pkt wg MEiN)
- [A8] Sarniak M. „*Analysis of energy efficiency and output power distribution of the inverter for photovoltaic microinstallation in central Poland*”. In: Stanek W., Gładysz P., Werle S., Adamczyk W., eds. [Proceedings of 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems](#) (ECOS 2019). 2019: 2605-2612. ISBN: 978-83-61506-51-5.
(20 pkt wg MEiN)
- [A9] Sarniak M. „*Mechanical aspects of designing of supporting structures for photovoltaic generators*”. *ECONTECHMOD. An International Quarterly Journal on Economics of Technology and Modelling Processes* (ISSN: 2084-5715). 2018; 7(1): 79-85.
(12 pkt wg MEiN)

- [A10] Sarniak M. „*Modeling of photovoltaic modules in Simulink and Simscape packages of Matlab software*”. *ECONTECHMOD. An International Quarterly Journal on Economics of Technology and Modelling Processes (ISSN: 2084-5715)*. 2017; 6(1): 133-138.

(12 pkt wg MEiN)

- [A11] Sarniak M. „*Performance comparison of the off-grid photovoltaic mini-system designed to power selected residential building circuits using AGM and Li-Ion batteries for energy storage*”. *Rynek Energii (ISSN: 1425-5960. IF: 0,626)*. 2022; 4(161): 46-56.

(70 pkt wg MEiN)

Wszystkie składniki osiągnięcia naukowego przedłożone do oceny dorobku powstały po uzyskaniu stopnia naukowego doktora w większości jako publikacje autorskie (za wyjątkiem artykułu [A6]) w latach 2017-2022, a ich sumaryczna punktacja wg aktualnego wykazu Ministerstwa Edukacji i Nauki wynosi **864**.

4.2. Geneza, cel i zakres badań

Fotowoltaika (w skrócie PV) jako stosunkowo nowa dziedzina techniki zajmuje się całokształtem zagadnień związanych z procesem bezpośredniej konwersji energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną. Pierwsze niskowydajne ogniwa PV pojawiły się w roku 1954, czyli wiele lat po odkryciu samego zjawiska w 1839 roku. Początkowo była to technologia wykorzystywana jedynie w zastosowaniach kosmicznych. Pierwsze powszechne zastosowania „naziemne” pojawiły się w latach 90-tych ubiegłego stulecia. Rozwój konstrukcji krzemowych ogniw PV nie byłby również możliwy bez umiejętności wytwarzania monokryształów metodą Czochralskiego (profesor PW). Obecnie ok. 90% przemysłu elektronicznego korzysta z urządzeń półprzewodnikowych, których istnienie zawdzięczamy metodzie Czochralskiego, a na jej bazie powstają również poli- i monokryształy, z których zbudowane są ogniwa PV. Cały czas trwają równoległe poszukiwania innych materiałów predysponowanych do budowy ogniw fotowoltaicznych (jak np. perowskity, kropki kwantowe i inne).

Fotowoltaika jest najdynamiczniej rozwijającym się odnawialnym źródłem energii (OZE), której łączna moc zainstalowana w Polsce przekroczyła już 11 GW_p (stan na sierpień 2022 r), co stanowi ponad połowę (53%) wszystkich odnawialnych źródeł energii - taka sytuacja utrzymuje się już od listopada 2021 roku. Udział OZE w polskim, tzw. mixie wytwarzania energii elektrycznej w 2021 roku wyniósł ogółem ok. 15%, na ok. 170 TWh

wyprodukowanej energii elektrycznej z łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej ze wszystkich rodzajów źródeł ok. 59 GW. Po ostatnich zmianach legislacyjnych, w wyniku których wprowadzono rozliczenia „wartościowe” zamiast „ilościowych” wygenerowanej energii, znacząco spadła liczba nowopowstających instalacji PV (w szczególności mikroinstalacji nawet do ok. 90%) przy równoległym wzroście jednostkowej mocy zainstalowanej (przeciętna moc nowej instalacji fotowoltaicznej powstałej w sierpniu 2022 r. to 13,8 kW_p).

Większość funkcjonujących instalacji fotowoltaicznych posiada moduły do monitorowania bieżących uzysków i innych parametrów. Często jest to również połączone z prognozami, wynikającymi z lokalnych warunków pogodowych. Analizy tego typu danych z monitoringu dostarczają wielu cennych informacji, które mogą być wykorzystane w procesie budowy i eksploatacji systemów fotowoltaicznych. Badania eksploatacyjne dostarczają również danych weryfikacyjnych do modelowania procesów generacji energii elektrycznej w ogniwach i modułach fotowoltaicznych, co stanowiło genezę wyboru obszaru badawczego.

Celem badań prezentowanych w publikacjach przedłożonego osiągnięcia naukowego było opracowanie metodyki badań ilościowego i jakościowego szacowania zjawisk, występujących w rzeczywistych instalacjach PV, metodą eksperymentów symulacyjnych oraz wykorzystywanie dużych zbiorów danych, zgromadzonych przez moduły monitoringu funkcjonujących już instalacji PV, do analiz, których efektem są korekty wytycznych projektowych dla nowoprojektowanych systemów PV.

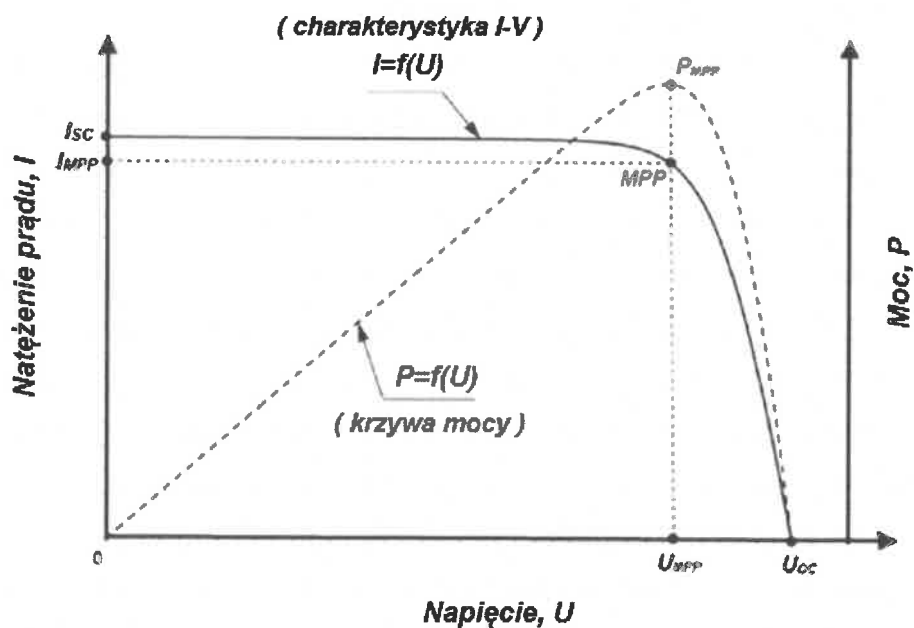
Adekwatnie do zakładanego celu i zakresu badań w prezentowanych składnikach osiągnięcia naukowego dokonano przeglądu aktualnego stanu opracowania zagadnień tematycznie powiązanych. Zgodnie z aktualnie obowiązującymi definicjami artykułu naukowego i monografii naukowej (Dz.U. 2019 poz. 392), są to dzieła „...przedstawiające określone zagadnienie naukowe w sposób oryginalny i twórczy, problemowy albo przekrojowy...” oraz „...opatrzone przypisami, bibliografią lub innym właściwym dla danej dyscypliny naukowej aparatem naukowym...”. Najszerszy tematycznie zakres pozycji bibliograficznych zamieszczono w monografii naukowej [M1], która na 158 stronach tekstu zawiera odwołania do 110 pozycji w spisie referencji, nieliczne przypisy oraz spisy najważniejszych oznaczeń i definicji. O ile w monografii naukowej występują wszystkie cechy, określające omawiane zagadnienia naukowe, to w artykułach naukowych (A1...A8;A10 i A11) zaprezentowano zagadnienia w sposób oryginalny i twórczy. Odnośniki bibliograficzne w tych publikacjach uzasadniają podjętą tematykę i prezentują aktualny stan wiedzy i badań z zakresu

rozpatrywanych zagadnień. Jedynie artykuł naukowy [A9] można zaliczyć do grupy dzieł przedstawiających zagadnienia naukowe w sposób problemowy i przekrojowy, gdyż bezpośrednio nie zawiera wyników badań, a jedynie aspekty mechaniczne budowy i eksploatacji systemów PV, rozwijając te zagadnienia w stosunku do ich zakresu w monografii naukowej [M1].

4.3. Metodologia w realizowanych badaniach

4.3.1. Metodologia badań modelowych

Podstawowym typem charakterystyk ogniw i modułów PV są nieliniowe przebiegi prądowo-napięciowe (I-V), które mierzy się dla określonych warunków natężenia promieniowania słonecznego i temperatury. Charakterystyki te dynamicznie ulegają zmianom w czasie nawet przy niewielkich zmianach warunków pogodowych. Na typowym niezaburzonym wykresie charakterystyki prądowo-napięciowej ($I=f(U)$) wyróżniamy trzy punkty (rys. 1), dla których wartości są podawane przez producentów w warunkach standardowych (tzw. STC): punkt prądu zwarcia - I_{SC} [A], punkt napięcia ogniwa otwartego - U_{oc} [V] i punkt mocy maksymalnej - MPP (o mocy maksymalnej - P_{MPP} [W]). Dla lepszego zobrazowania ekstremalnego punktu mocy maksymalnej na charakterystykach często wykreśla się również krzywą mocy ($P=f(U)$). Kształt przebiegu charakterystyki I-V jednoznacznie opisuje ilościowo proces konwersji fotowoltaicznej w ogniwie lub module PV.



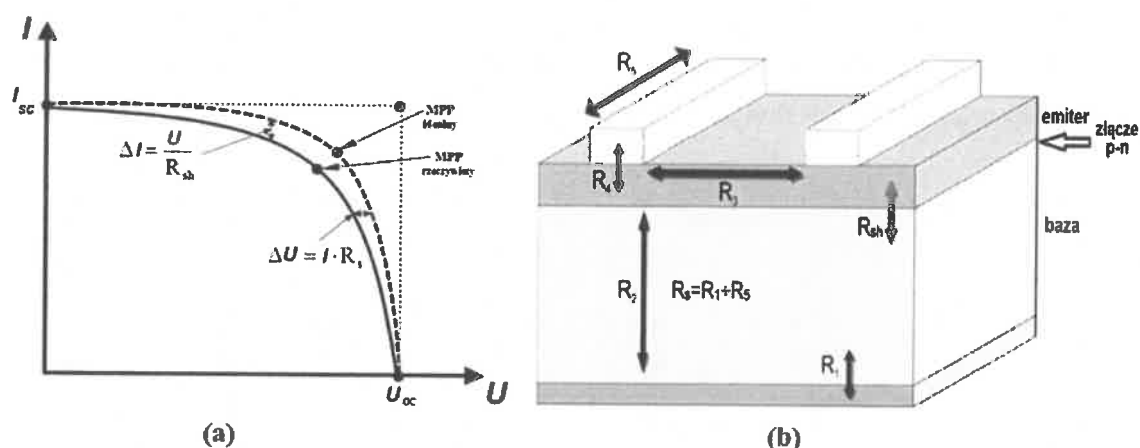
Rys. 1. Kształt typowej charakterystyki prądowo-napięciowej ogniw i modułów PV [wg M1 i A6]

Podobieństwo budowy typowego krzemowego ogniwa PV do diody półprzewodnikowej determinuje metody modelowania zjawiska konwersji fotowoltaicznej, które polegają na analizie zastępczych obwodów elektrycznych z elementami, opisującymi różne parametry funkcjonalne rzeczywistego ogniwa PV. Parametrem, który charakteryzuje jakość ogniwa i modułów PV jest współczynnik wypełnienia charakterystyki I-V, oznaczany symbolem FF (ang. *Fill Factor*). Interpretacja graficzna tego współczynnika przedstawia jakie jest odstępstwo analizowanej charakterystyki I-V od przebiegu spodziewanego. Jego wartość liczbową jest podawana najczęściej w procentach i można ją obliczyć ze wzoru:

$$FF = \frac{P_{MPP}}{I_{SC} \cdot U_{OC}} = \frac{I_{MPP} \cdot U_{MPP}}{I_{SC} \cdot U_{OC}}, \quad (1)$$

gdzie oznaczenia we wzorze (1) wg rys. 1.

Współczynnik wypełnienia FF krzywej I-V charakteryzuje jakość ogniwa PV, z których jest zbudowany moduł PV i zależy głównie od rezystancji szeregowej kontaktów - R_s [Ω] oraz rezystancji oporów wstecznej dyfuzji i rekombinacji - R_{sh} [Ω]. Z przedstawionej na rys. 2 interpretacji wynika, że idealne ogniwo powinno mieć jak najmniejszą rezystancję R_s i jak największą R_{sh} . Przyjmuje się, że wysokiej jakości ogniwa PV mają współczynnik FF powyżej 75%.



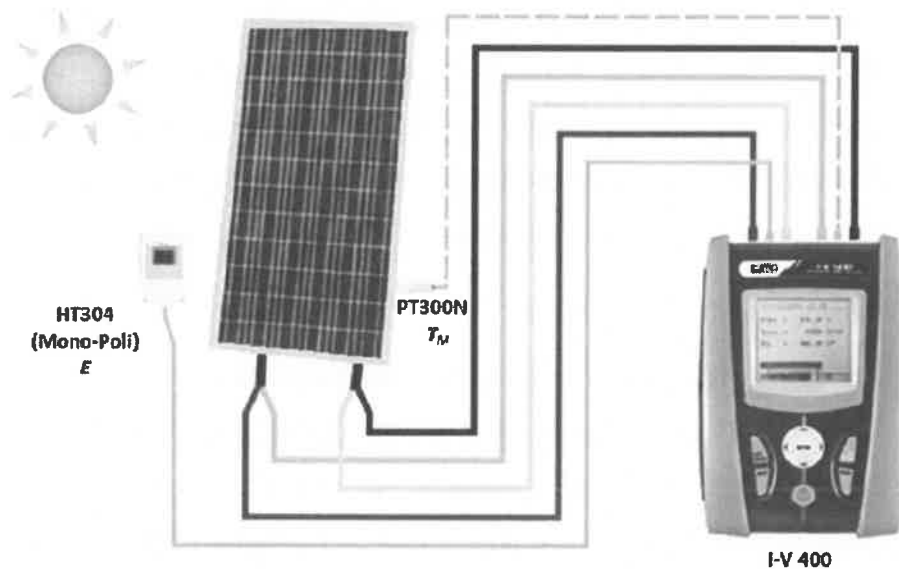
Rys. 2. Interpretacja destrukcyjnego wpływu rezystancji szeregowej R_s i równoległej R_{sh} na kształt charakterystyki I-V rzeczywistego ogniwa PV - (a) oraz model fizyczny ogniwa PV - (b) [wg M1]

Kolejnym istotnym parametrem opisującym jakość ogniwa i modułów PV jest sprawność (podobnie jak FF podawana najczęściej w procentach), którą możemy powiązać ze współczynnikiem wypełnienia FF i powierzchnią S według zależności:

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{E \cdot S} = \frac{I_{MPP} \cdot U_{MPP}}{E \cdot S} = FF \cdot \frac{I_{SC} \cdot U_{OC}}{E \cdot S}, \quad (2)$$

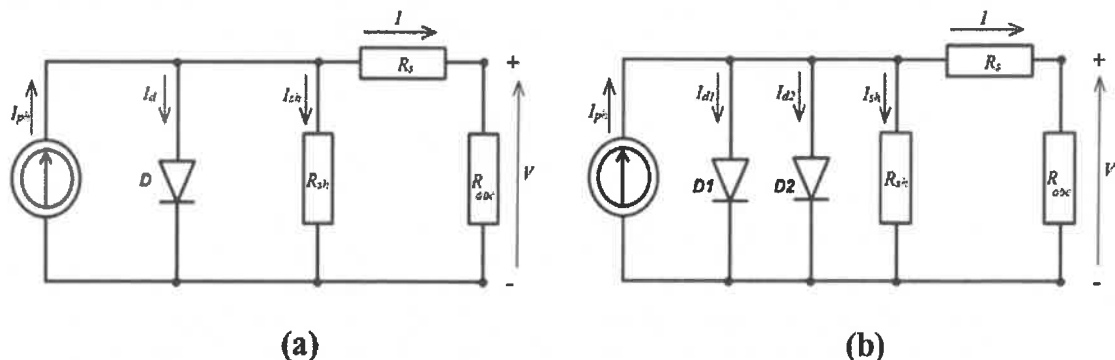
gdzie dodatkowo we wzorze (2) E [$W \cdot m^{-2}$] oznacza natężenie promieniowania słonecznego.

Pomiary charakterystyk I-V dla modułów PV w określonych warunkach nasłonecznienia i temperatury można wykonać przy użyciu dedykowanych mierników. W przeprowadzonych badaniach, głównie dla celów weryfikacji badań modelowych, użyto miernika I-V 400, a metodykę pomiarów przedstawiono schematycznie na rys. 3.



Rys. 3. Schemat układu do pomiarów charakterystyk I-V przy użyciu miernika: I-V 400 [wg A6]

Funkcjonowanie rzeczywistego ogniwa PV można zastąpić modelem, którego badanie dostarcza porównywalnych wyników z pomiarami uzyskiwanymi doświadczalnie. Najczęściej stosowane są modele zastępcze jedno- i dwudiodowe ogniwa PV, które pod względem elektrycznym można zastąpić równoważnymi obwodami, przedstawionymi na rys. 4.



Rys. 4. Jednodiodowy (a) i dwudiodowy (b) schemat zastępczy ogniwa PV [wg M1]

Model idealnego ogniwa PV jest zastępowany równoległym połączeniem źródła prądu i diody. Dla lepszego odwzorowania rzeczywistych warunków funkcjonowania ogniwa PV na schemacie zastępczym uwzględnia się również rezystancję szeregową (R_s) i równoległą (bocznikową - R_{sh}). Dla **jednodiodowego schematu zastępczego** ogniwa PV (rys. 4a) na podstawie pierwszego prawa Kirchhoffa można zapisać równanie:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh}, \quad (3)$$

gdzie:

- I - natężenie prądu ogniwa PV (obciążenia) [A],
- I_{ph} - natężenie prądu generowanego w ogniwie (fotoprądu) [A],
- I_d - natężenie prądu diody [A],
- I_{sh} - natężenie prądu płynącego przez bocznik [A].

Rozwijając człony wzoru (3) otrzymujemy równanie, które uwzględnia zjawiska przebiegające w diodzie i opornikach schematu zastępczego ogniwa PV:

$$I = \frac{I_{sc} \cdot E}{E_{STC}} - I_s \left[\exp \left(q \frac{U + I \cdot R_s}{n \cdot k_B \cdot T_c} \right) - 1 \right] - \frac{U + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (4)$$

gdzie:

- E - natężenie promieniowania słonecznego (gdzie: $E_{STC} = 1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$),
- I_s - wsteczny prąd nasycenia diody [A],
- I_{sc} - prąd zwarcia ogniwa PV [A],
- U - napięcie ogniwa PV (obciążenia) [V],
- k_B - stała Boltzmanna: $1,38 \times 10^{-23} \text{ [J} \cdot \text{K}^{-1}]$,
- q - ładunek elektronu: $1,602 \times 10^{-19} \text{ [C]}$,
- T_c - temperatura ogniwa [K],
- n - współczynnik jakości diody (od 1 do 2 - dla diody idealnej równy 1),
- R_s - rezystancja szeregową [Ω],
- R_{sh} - rezystancja równoległa (bocznikowa) [Ω].

Dokładniejsze wyniki obliczeń można uzyskać stosując bardziej zaawansowany **model dwudiodowy**, dla którego schemat zastępczy przedstawiono na rys. 4b, a równanie prądów na podstawie pierwszego prawa Kirchhoffa zapisano w postaci równania:

$$I = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_{sh} \quad (5)$$

Model ten jest zmodyfikowaną wersją modelu jednodiodowego, w którym zastosowano zamiast jednej dwie różne diody ($D1$ i $D2$ rys. 4b). W modelu tym składowa prądu diody (I_d) została podzielona na część dyfuzyjną (I_{d1}) i rekombinacyjną (I_{d2}) tzw. prądu ciemnego diody. Przez analogię możemy zapisać równanie dla modelu dwudiodowego w postaci równania:

$$I = \frac{I_{sc} \cdot E}{E_{STC}} - I_{s1} \left[\exp \left(q \frac{U + I \cdot R_s}{n_1 \cdot k_B \cdot T_c} \right) - 1 \right] - I_{s2} \left[\exp \left(q \frac{U + I \cdot R_s}{n_2 \cdot k_B \cdot T_c} \right) - 1 \right] - \frac{U + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (6)$$

W modelu tym inaczej są interpretowane parametry I_{s1} - dla części dyfuzyjnej prądu ciemnego oraz I_{s2} - dla składowej rekombinacyjnej prądu ciemnego. Występujące w równaniu (6) współczynniki jakości diod n_1 i n_2 są przyjmowane jako skrajne z dopuszczalnego zakresu: n_1 przyjmujemy bliskie wartości 1, a dla n_2 przyjmujemy wartości bliskie 2 - w procesie testowania/kalibracji modelu dla wartości nominalnych parametrów ogniwa PV (w warunkach STC). Teoretyczny opis modeli jedno- i dwudiodowego był prezentowany w literaturze przedmiotu, a różne aplikacje tych modeli do badań symulacyjnych przytoczono w zbiorach

referencji prac: [A4; A6; A7; A10 i M1], wyczerpujący opis modelu dwudiodowego zamieszczono w książce, na którą autor powołał się np. w pracy [A4] poz. lit. [33].

Opisane równaniami (4) i (6) modele typowej charakterystyki prądowo-napięciowej ogniwa PV, w postaci równania: $F(I,U)=0$, z matematycznego punktu widzenia są nieliniowe i uwikłane, możliwe do rozwiązania jedynie w procesie obliczeń iteracyjnych. Obliczenia modelowe są wykorzystywane głównie do prognozowania parametrów pracy ogniw PV w różnych warunkach środowiskowych, a w szczególności dla zmian natężenia promieniowania słonecznego i temperatury. Modele można również zastosować do przeprowadzenia obliczeń symulacyjnych dla ogniw PV połączonych szeregowo i równoległe w moduły i panele PV. Obliczenia symulacyjne z zastosowaniem modelowania umożliwiają również analizę różnych nieprawidłowości w funkcjonowaniu ogniw PV, jak np. wpływ częściowego lub całkowitego zacienienia na przebieg charakterystyki I-V.

Narzędziem wykorzystywanym do budowy modeli i wykonywania obliczeń symulacyjnych był pakiet obliczeń inżynierskich MATLAB. Początkowo (np. w pracy [A10]) modelowano równania dla obwodu zastępczego (4) i (6) ze standardowych elementów MATLAB/SIMULINK. Efektywność i dokładność procesu modelowania zwiększyła się po wprowadzeniu do najnowszych wersji pakietu MATLAB/SIMULINK komponentów: „PV ARRAY” oraz „Solar Cell”. Pierwszy z nich jest to komponent z biblioteki pakietu Simulink: Renewables/Solar, który wprowadzono do systemu od wersji pakietu MATLAB R2015a (w pracy [A4], poz. lit. [10]). Komponent ten opracowano na podstawie modelu matematycznego zaproponowanego przez NREL (*ang. National Renewable Energy Laboratory*) w roku 2014. Jest to realizacja jednodiodowego modelu ogniwa PV. W najnowszym rozszerzeniu SIMSCAPE pakietu do modelowania SIMULINK w MATLABIE zaimplementowano komponent „Solar Cell”, który powstał na bazie dokładniejszego modelu dwudiodowego ogniwa PV.

W wykonanych badaniach modelowych weryfikowano kształt oraz wartości liczbowe dla trzech punktów charakterystyk prądowo-napięciowych modułów fotowoltaicznych. Dane do weryfikacji uzyskiwano wykonując obliczenia symulacyjne dla parametrów pogodowych zarejestrowanych podczas pomiaru rzeczywistego. Punktami podlegającymi weryfikacji był punkt prądu zwarcia ($0; I_{sc}$), punkt napięcia jałowego ($U_{oc}; 0$) oraz punkt mocy maksymalnej ($U_{MPP}; I_{MPP}$). Kształt charakterystyki modułu liczbowo opisywano współczynnikiem jej wypełnienia (FF). Dokładność badań weryfikacyjnych określano obliczając błędy względne

porównania wartości liczbowych, uzyskanych w wyniku obliczeń symulacyjnych i pomiarów rzeczywistych wykonanych miernikiem.

4.3.2. Metodologia badań eksploatacyjnych

Obiekty techniczne, do których zaliczamy systemy PV, stanowią zarówno efekt twórczy działań inżynierskich w fazie konstruowania, projektowania i wytwarzania, jak i obiekt działań w fazie eksploatacji. Eksploatacja stanowi zwykle około 90% czasu trwania całego cyklu od koncepcji do wycofania obiektu z eksploatacji. W całym cyklu życia zauważa się liczne sprzężenia zwrotne dotyczące przepływu informacji dla poprawy samego obiektu i procedur jego eksploatacji. Z kolei obiekt techniczny mechaniczny to dowolne urządzenie techniczne, w którym zachodzą przemiany energii, materii i informacji. Stanowi to podstawę zaliczania zagadnień budowy i eksploatacji systemów fotowoltaicznych do szeroko rozumianej energetyki.

Badania eksploatacyjne systemów PV polegają na analizowaniu dużych zbiorów danych, pochodzących z monitorowania instalacji. Zakres tych danych bywa różny. Najczęściej są to dane wyjściowe systemu PV w postaci zarejestrowanych wartości mocy w czasie w postaci zestawień dobowych, miesięcznych i rocznych. Na tej podstawie są również sporządzane bilanse generowanej energii wyjściowej w jednostkach bezwzględnych i względnych. Zaletą badań eksploatacyjnych jest to, że nie ingerują w normalne funkcjonowanie systemu. Mają jednak ograniczony zakres w stosunku do badań poszczególnych elementów systemu, np. pomiarów charakterystyk prądowo-napięciowych pojedynczych modułów PV.

W badaniach eksploatacyjnych typowych systemów PV dołączonych do sieci elektroenergetycznej zazwyczaj punktem centralnym jest falownik PV i to w jego zakresie funkcjonalnym jest rejestracja parametrów systemu PV najczęściej na zdalnych serwerach producenta, udostępnianych użytkownikom końcowym. W bardziej rozbudowanych systemach rejestrowane są również parametry pogodowe w miejscu instalacji.

Do najczęściej poruszanych problemów eksploatacyjnych zaliczamy zagadnienie wymiarowania instalacji w sensie doboru wielkości generatora PV do nominalnej mocy falownika. Rozwiązywanie tego problemu ma zazwyczaj formę studium przypadku dla określonej lokalizacji i jest ściśle związane z warunkami pogodowymi. Do istotnych wniosków prowadzą również analizy histogramów stopnia obciążenia falowników PV dla zadanej konfiguracji generatora PV. Problemem przy wymiarowaniu instalacji jest też wpływ temperatury otoczenia na funkcjonowanie systemu PV, a w szczególności jak wpływa

temperatura otoczenia na temperaturę ogniw/modułu PV (T_M), z których zbudowane są moduły. W dużym przybliżeniu można ją szacować na podstawie zależności:

$$T_M = T_{amb} + \frac{(NOCT-20) \cdot E}{800} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (7)$$

gdzie:

T_{amb} - temperatura otoczenia modułu PV [$^\circ\text{C}$],

$NOCT$ - temperatura pracy modułu w warunkach normalnych [$^\circ\text{C}$],

E - natężenie promieniowania słonecznego [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$].

Należy tu zaznaczyć, że w kartach katalogowych modułów PV producenci podają ich podstawowe parametry eksploatacyjne, wyznaczone dla ujednoczonych wspomnianych już warunków standardowych **STC** (*ang. Standard Test Conditions*), a niekiedy również dla warunków, tzw. normalnych **NOCT** (*ang. Normal Operating Cell Temperature*). W tabeli 1 przedstawiono ich porównanie. Optyczna masa atmosfery AM jest interpretowana jako stosunek długości drogi promieniowania słonecznego, przenikającego przez atmosferę ziemską przy promieniowaniu padającym pod pewnym kątem, do długości tej drogi przy prostym do powierzchni Ziemi przejściu ich przez atmosferę.

Tabela 1

Porównanie warunków STC i NOCT wg [M1]

Warunki - STC:	Warunki - NOCT - temperatura pracy ogniw w warunkach:
natężenie promieniowania: $E=1000 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}]$	natężenie promieniowania: $E=800 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}]$
optyczna masa atmosfery: AM 1,5	optyczna masa atmosfery: AM 1,5
temperatura ogniw oświetlonego modułu: $T_M=25^\circ\text{C}$	-
-	temperatura otoczenia: $T_{amb}=20^\circ\text{C}$
-	prędkość wiatru: $1 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$

Temperatura *NOCT* dla modułu PV najczęściej ma wartości z przedziału: $43 \div 48^\circ\text{C}$ i najlepiej gdy jest jak najmniejsza, gdyż świadczy to o tym, że moduł lepiej oddaje ciepło do otoczenia i nie nagrzewa się. W klimacie Polski parametry modułu PV wyznaczone w warunkach *NOCT* są bardziej zbliżone do rzeczywistych, gdyż przy natężeniu promieniowania słonecznego $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ temperatura modułu najczęściej jest dużo wyższa niż 25°C , osiąga niekiedy nawet ok. 70°C .

W procesie wymiarowania generatora PV na etapie projektowania należy uwzględnić wpływ skrajnych temperatur w ciągu całego roku eksploatacji w danej lokalizacji na podstawowe parametry modułów PV. Dlatego poza parametrami elektrycznymi podawane są również przez producentów modułów w kartach katalogowych charakterystyki temperaturowe w postaci temperatury pracy modułu PV w warunkach *NOCT* (określone w tab. 1) oraz trzy współczynniki temperaturowe dla parametrów elektrycznych:

α_T - współczynnik temperaturowy dla I_{SC} [$\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$] (dodatni),

β_T - współczynnik temperaturowy dla U_{OC} [$\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$] (ujemny),

γ_T - współczynnik temperaturowy dla P_{MPP} [$\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$] (ujemny).

Na tej podstawie w pracy [M1] autor sformułował analitycznie zależności na obliczanie parametrów funkcjonalnych modułu PV w zależności od temperatury modułu T_M [w $^\circ\text{C}$]:

$$I_{SC}(T_M) = I_{SC} \cdot \left[1 + (T_M - 25) \cdot \frac{\alpha_T}{100} \right] \text{ [A]} \quad (8)$$

$$U_{OC}(T_M) = U_{OC} \cdot \left[1 + (T_M - 25) \cdot \frac{\beta_T}{100} \right] \text{ [V]} \quad (9)$$

$$P_{MPP}(T_M) = P_{MPP} \cdot \left[1 + (T_M - 25) \cdot \frac{\gamma_T}{100} \right] \text{ [W}_p\text{]} \quad (10)$$

oraz z pewnym przybliżeniem zależności na obliczanie:

$$U_{MPP}(T_M) = U_{MPP} + U_{OC} \cdot (T_M - 25) \cdot \frac{\beta_T}{100} \text{ [V]} \quad (11)$$

$$I_{MPP}(T_M) = I_{MPP} + I_{SC} \cdot (T_M - 25) \cdot \frac{\alpha_T}{100} \text{ [A]} \quad (12)$$

Ustalenie zakresu możliwych w danej lokalizacji temperatury T_M należy przeprowadzić wg podziału na strefy klimatyczne Polski (norma: PN-EN 12831) – co szczegółowo opisano w pracy [M1]. Wstępne i bardzo ogólne analizy potencjalnych parametrów funkcjonowania instalacji PV na danym obszarze można wykonać przy zastosowaniu narzędzi dostępnych na portalu PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*).

Wyniki badań eksploatacyjnych dostarczają wielu informacji zwrotnych, które można wykorzystać na etapie projektowania. Zakres badań eksploatacyjnych może być bardzo szeroki i obejmować, obok zakresu klasycznych pomiarów parametrów elektrycznych pracy falownika, również inne zagadnienia jak np. inspekcje kamerami termowizyjnymi przy użyciu dronów.

Reasumując w wykonanych badaniach eksploatacyjnych przeanalizowano duże zbiory danych parametrów, zarejestrowanych przez system monitorowania instalacji fotowoltaicznej, które są wartościami uśrednianymi z częstotliwością co 5 minut. Wyniki tych badań są uśrednionymi wartościami mierzonych parametrów systemu PV, ale nie mają cech powtarzalności i podlegają jedynie opracowaniom statystycznym. Uzyski wygenerowanej energii w określonym przedziale czasowym (doba/miesiąc/rok) dla celów porównawczych przeliczano na uzyski względne i podawano w jednostkach energii, przypadających na jednostki mocy szczytowej zainstalowanej (kWh/kW_p). W przypadku analizy rozkładu mocy wyjściowej falownika zastosowano szeregi rozdzielcze, będące statystycznym sposobem prezentacji rozkładu danych empirycznych, z 10% podziałem zakresu wielkości badanej. Badania empiryczne nie wykazywały okresowej powtarzalności danych pomiarowych i były

specyficzne dla rozpatrywanego przedziału czasowego. Wnioskowanie ogólne jest możliwe na podstawie uśrednionych wyników pomiarów wieloletnich jedynie w określonej lokalizacji.

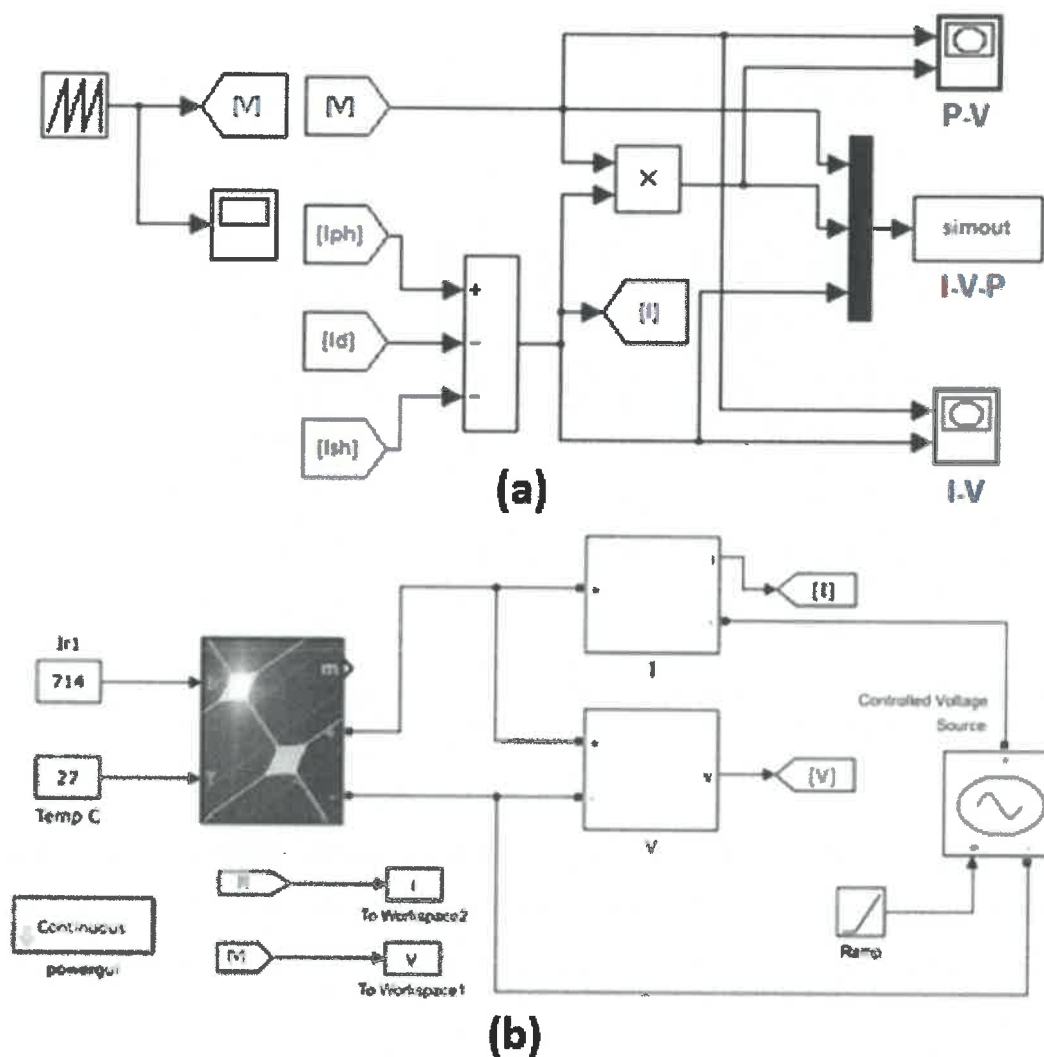
4.4. Syntetyczny opis otrzymanych wyników badań

4.4.1. Wyniki badań modelowych

Powszechną procedurą w badaniach symulacyjnych prowadzonych wg zastępczego modelu jednodiodowego i dwudiodowego ogniw PV jest określenie parametrów modelu na poziomie porównywalnym z nominalnymi, wyznaczonymi w warunkach STC. Weryfikacja wyników obliczeń symulacyjnych była przeprowadzana na podstawie porównania wyników badań symulacyjnych z wynikami pomiarów rzeczywistych modułów PV dedykowanym miernikiem.

W publikacjach będących składnikami przedłożonego osiągnięcia naukowego dokonano krytycznego przeglądu aktualnego stanu opracowania zagadnienia w zakresie modelowania modułów PV. W najszerszym zakresie ujęto to w rozdziale wprowadzającym do publikacji [A4]. Odwołano się w niej do aplikacji modeli zastępczych jednodiodowych (poz. lit. [11,12]), dwudiodowych (poz. lit. [13,14]) oraz w jednym przypadku również modelu trzydiodowego (poz. lit. [15]). Dla wymienionych typów modeli zastępczych stosowano różne algorytmy obliczeniowe, co było przedmiotem badań w kilku pracach (artykuł [A4], poz. lit. [16,17,18]). Do ciekawszych i oryginalnych metod obliczeniowych należy zaliczyć zastosowanie funkcji specjalnej *W Lamberta*, która jest używana podczas rozwiązywania równań zawierających niewiadomą zarówno w podstawie, jak i wykładniku potęgi. W starszych opracowaniach obliczenia symulacyjne wykonywano przy zastosowaniu oryginalnych skryptów pakietu Matlab (artykuł [A4], poz. lit. [19,20,21,22]).

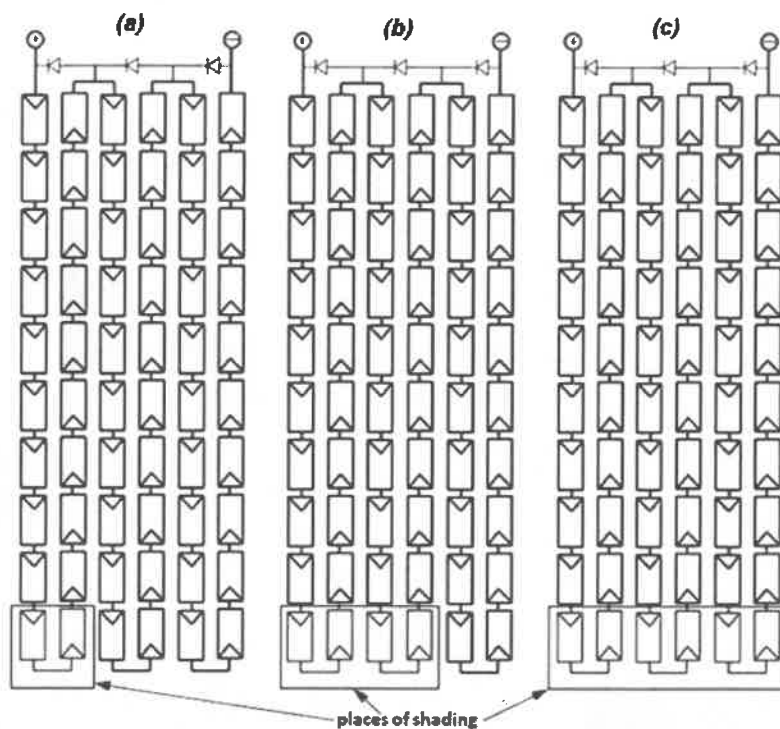
Implementacja modelu jednodiodowego przy zastosowaniu standardowych bloków pakietu Simulink (rys. 5a), zaprezentowana w pracy [A10], w porównaniu z zastosowaniem komponentu „PV Array” (rys. 5b), wykazują znaczące rozbieżności wyników badań symulacyjnych w stosunku do pomiarów rzeczywistych. Dla punkt mocy maksymalnej na charakterystyce I-V (P_{MPP}) uzyskano względne błędy porównania wyników badań symulacyjnych z pomiarami rzeczywistymi dla modelu symulacyjnego zbudowanego ze standardowych bloków pakietu Simulink na poziomie 5,76%, zaś dla modelu zbudowanego z komponentu „PV Array” na poziomie 5,48% [A10]. Przedstawiony na rys. 5a schemat symulacyjny, zbudowany ze standardowych komponentów pakietu Simulink jest odwzorowaniem równania (3) i posiada jeszcze rozwinięcia zgodnie z pełnym zapisem modelu jednodiodowego ogniwa PV wg równania (4).



Rys. 5. Realizacja jednodiodowego modelu PV przy użyciu różnych modeli symulacyjnych: (a) zbudowanego ze standardowymi blokami pakietu Simulink i (b) przy użyciu komponentu „PV Array” [wg A10]

W pracach naukowych (artykuł [A7], poz. lit. [13-17]) często podejmowano tematykę wpływu częściowego zacinienia i zabrudzenia powierzchni modułów PV na ich wydajność energetyczną co było genezą budowy modeli zastępczych do symulacyjnego badania tych zjawisk.

W pracach [A6] i [A7] wykonano badania wpływu częściowego zacinienia modułów PV, zbudowanych z najpopularniejszych dwóch typów ogniw: z poli- i monokrystalicznego krzemu z 60 ogniw połączonych wewnętrznie tak, jak pokazano na rys. 6. Przyjęto sposób częściowego zacinienia modułów PV wg schematu przedstawionego na rys. 6.



Rys. 6. Schemat wewnętrznej struktury typowego krzemowego modułu PV z zaznaczonymi miejscami sztucznego zacielenia ogniw PV: (a) dwa zacielenowane ogniwa PV, (b) cztery zacielenowane ogniwa PV, (c) sześć zacielenowanych ogniw PV wg [A6] i [A7]

Badania eksperymentalne wykonano dla tych samych zasłon, częściowo zacieleniających moduły poli- i monokrystaliczne. Dla identyfikacji intensywności zacielenia promieniowania słonecznego autor wprowadził wskaźnik stopnia zacielenia modułu (k_{sh}), który był obliczany ze wzoru:

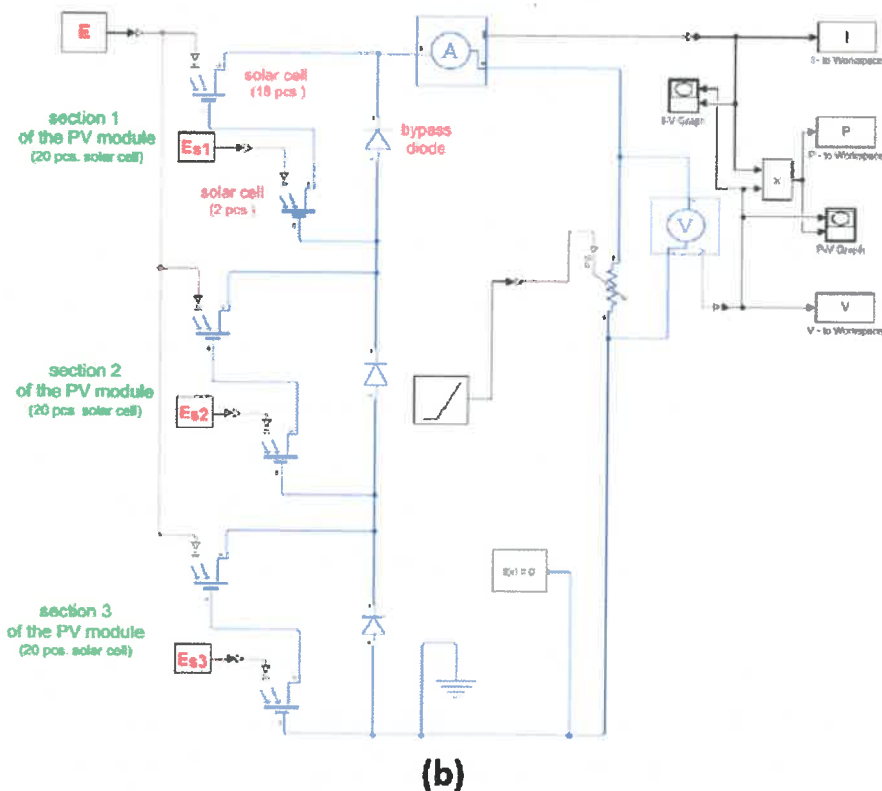
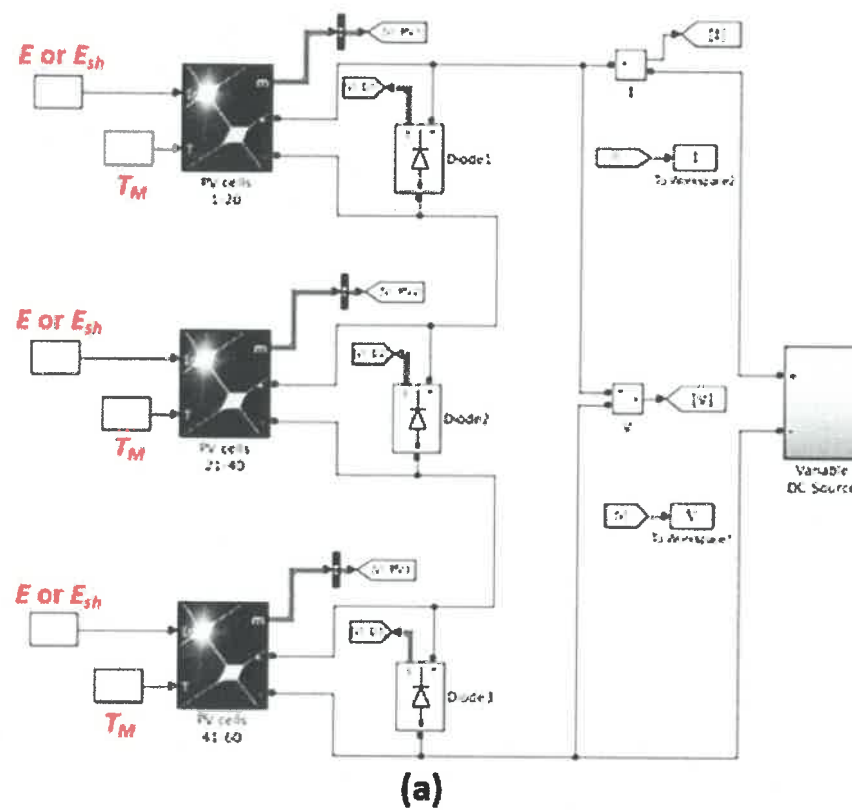
$$k_{sh} = \frac{E - E_{sh}}{E} \cdot 100 [\%] \quad (13)$$

gdzie:

E - natężenie promieniowania słonecznego bez zacielenia [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$],

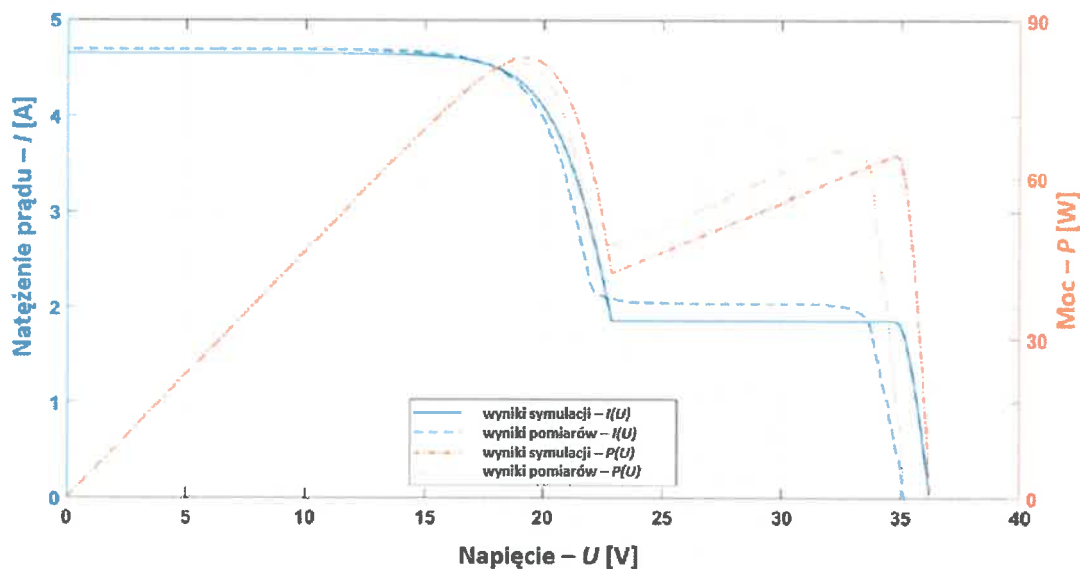
E_{sh} - natężenie promieniowania słonecznego przy częściowym zacieleniu [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$].

Wyniki badań eksperymentalnych porównano z wynikami badań symulacyjnych, które wykonano wg schematów zaimplementowanych w pakiecie Matlab/Simulink przedstawionych na rys. 7, zbudowanych wg schematów zacielenia przedstawionego na rys. 6.



Rys. 7. Schematy symulacyjne wykonane w pakiecie Matlab/Simulink: (a) dla modelu jednodiodowego przy zastosowaniu komponentu „PV Array” [wg A7] oraz (b) dla modelu dwudiodowego przy zastosowaniu komponentu „Solar Cell” [wg A6]

Na rys. 8 przedstawiono przykładowe wyniki badań weryfikacyjnych wykonane dla modułu PV, zbudowanego z ogniw z krzemu polikrystalicznego (model: STP255-20/Wd) przy zastosowaniu częściowego zacielenia wg schematu z rys. 6a dla wartości współczynnika zacielenia $k_{sh}=60,1\%$.



Rys. 8. Przykładowe wyniki badań weryfikacyjnych w postaci porównania charakterystyk I-V i wykresów mocy dla modułu PV wykonanego z krzemu polikrystalicznego [wg A6]

Analiza badań weryfikacyjnych przedstawionych w pracach [A6], [A7] i [A10] prowadzi w konkluzji do wyciągnięcia następujących wniosków:

Wniosek 1:

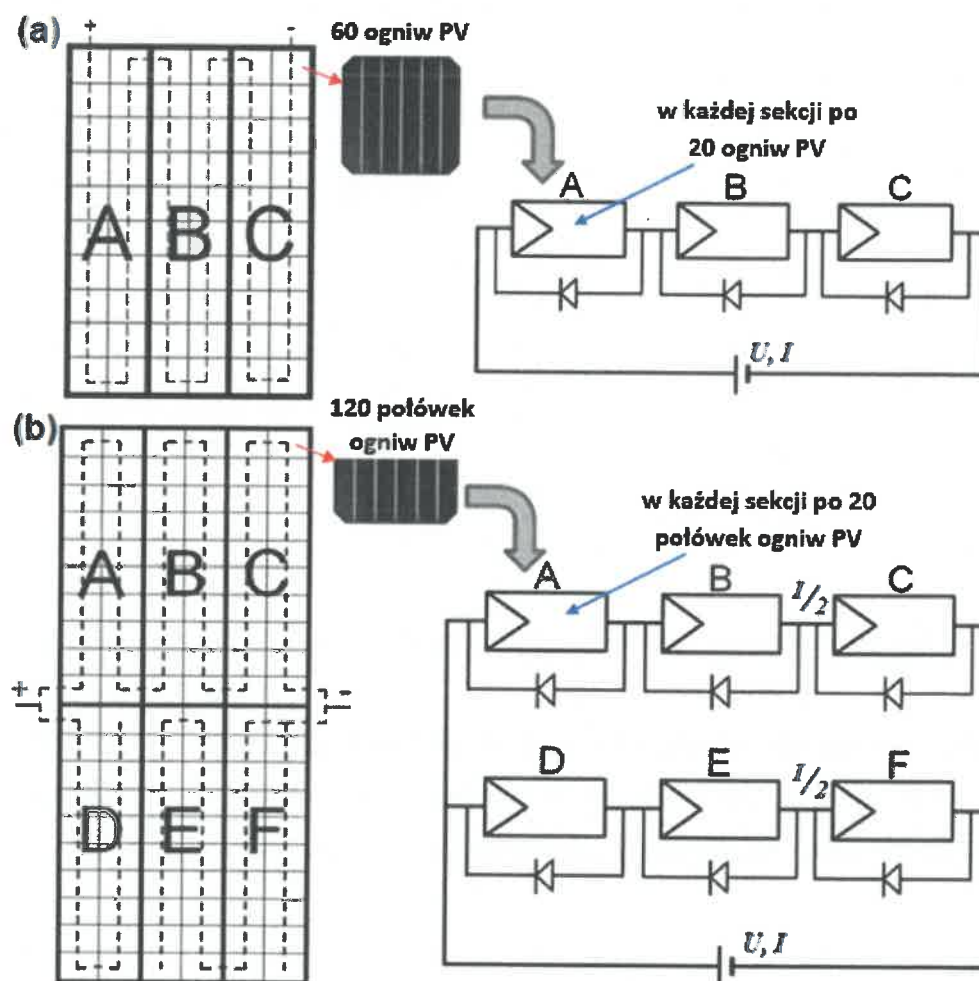
Badania symulacyjne przy zastosowaniu zweryfikowanych modeli zastępczych jedno- i dwudiodowych, z wystarczającą dla celów praktycznych dokładnością, umożliwiają prognozowanie względnych uzysków energii z generatora fotowoltaicznego dla różnych sytuacji krytycznych, w których występuje częściowe zacielenie. Badania modelowe zostały zweryfikowane na poziomie maksymalnego 5% błędu względnego porównania wyników symulacyjnych z wynikami pomiarów dla wybranych punktów charakterystyk prądowo-napięciowych rozpatrywanych modułów PV.

Wniosek 2:

Krytycznie należy podejść do prób budowy coraz bardziej skomplikowanych modeli zastępczych, np. trzydiodowych, gdyż porównanie modeli jedno- i dwudiodowych nie daje do tego racjonalnych podstaw w całorocznym bilansie szacowania uzysków energii. Szczegółowa analiza stanu opracowania zagadnienia wykazała, że tylko w jednym przypadku (artykuł [A4], poz. lit. [15]) pozytywnie zweryfikowana model trzydiodowy dla przemysłowych ogniw PV o ekstremalnie dużej powierzchni użytkowej.

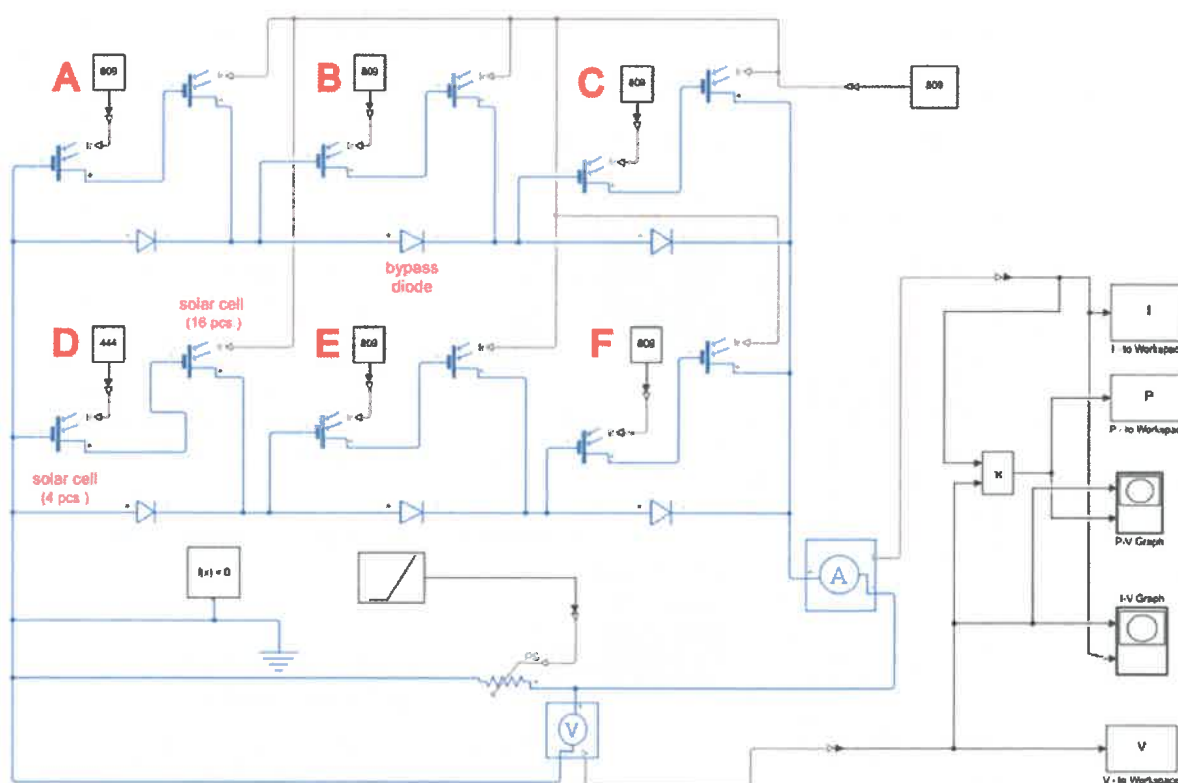
Kolejny etap badań modelowych jest związany z perspektywami trwających prac nad poszukiwaniem nowych bardziej wydajnych modułów PV. Aktualnie szacuje się, że dominacja modułów zbudowanych na bazie krzemu potrwa jeszcze ok. 15 lat (artykuł [A1], poz. lit. [30]). Przyjmując za funkcję celu górny poziom teoretycznej sprawności tego typu rozwiązań na poziomie ok 33%, trwają poszukiwania konstrukcji poprawiających ten wskaźnik.

Do coraz częściej spotykanych rozwiązań, mających na celu zwiększenie wydajności modułów PV, należą konstrukcje zbudowane z ogniw połówkowych (**Half-Cells**). Schemat budowy tego typu modułów PV oraz porównanie z konstrukcjami klasycznymi przedstawiono na rys. 9. Taka konstrukcja modułu PV w porównaniu do klasycznej ma dwie zalety: zwiększa wytrzymałość ogniw połówkowych na mikropęknięcia oraz zmniejsza o 50% wartości prądów przepływających przez poszczególne sekcje ogniw połówkowych ze względu na równoległe połączenie sekcji tak, jak to pokazano na rys. 9b.



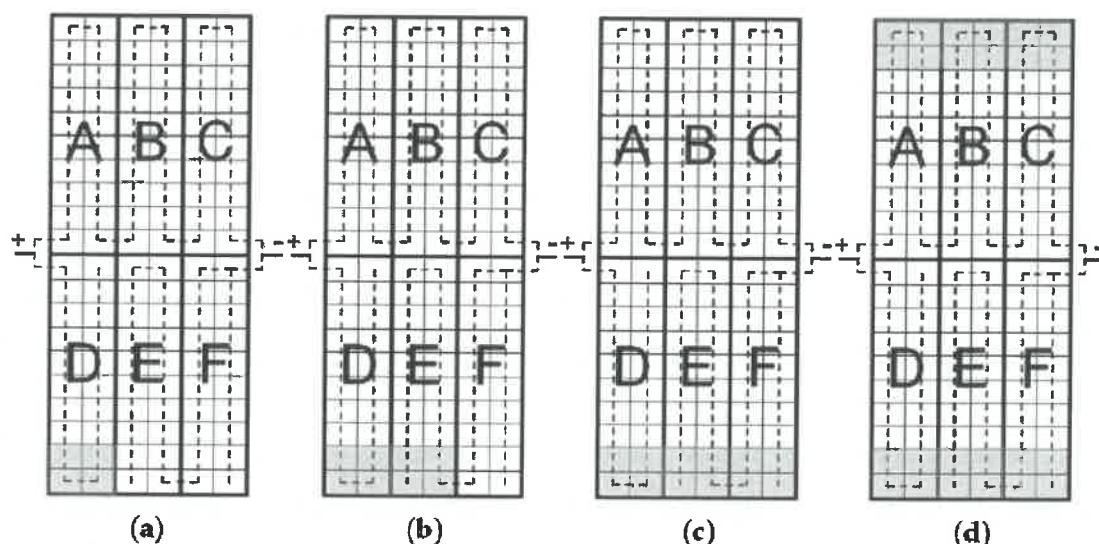
Rys. 9. Schematy budowy dwóch typów modułów PV: (a) klasycznego zbudowanego z 60 całych ogniw oraz (b) zbudowany z 120 połówek ogniw [wg A4]

W pracy [A4] autor zbudował i zweryfikował model takiego modułu PV. Do budowy modelu wykorzystano komponent „Solar Cell” pakietu Matlab/Simulink, ale w ten sposób, że jednostką modelu jest połówka ogniwa zgodnie ze schematem na rys. 9b. Model jest pewną analogią do modelu przedstawionego na rys. 7b z tą różnicą, że znacząco zwiększa się stopień komplikacji połączeń wewnętrznych, wynikający ze struktury budowy modułu typu Half-Cells. Model symulacyjny dla modułu typu Half-Cells (model: JAM60S03-320/PR) przedstawiono na rys. 10, na którym modelowane sekcje modułu PV, przedstawionego na schemacie na rys. 9b, oznaczono analogicznie literami: A-F.



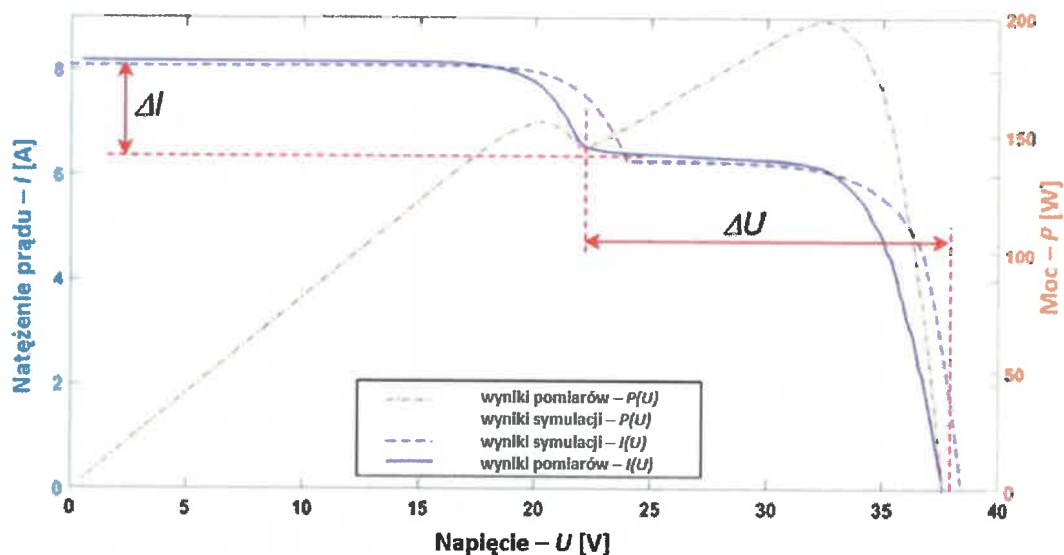
Rys. 10. Model symulacyjny modułu PV zbudowanego z ogniw połówkowych [wg A4]

W modelu symulacyjnym uwzględniono strukturę wewnętrzną, która została podzielona na sześć sekcji (A÷F). Na rys. 11 przedstawiono plan wariantów wykonanych badań symulacyjnych, który uwzględniał różne przypadki częściowego zacielenia.



Rys. 11. Plan badań wpływu częściowego zacienienia modułu PV typu Half-Cells na przebiegi charakterystyk prądowo-napięciowych I-V [wg A4]

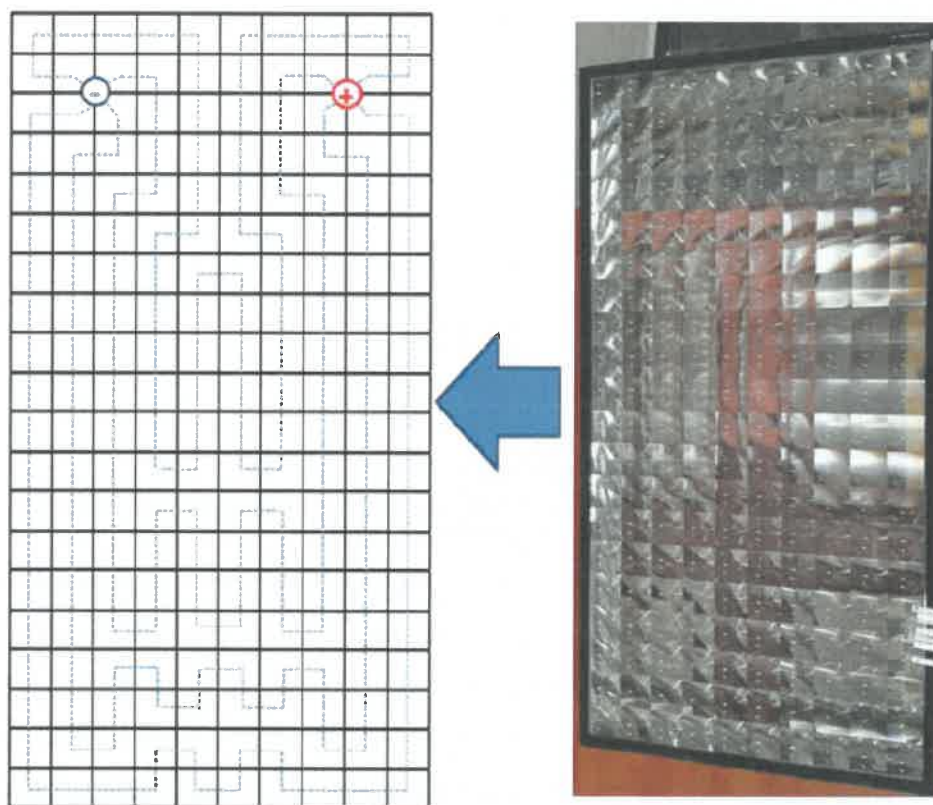
Przykładowe wyniki badań weryfikacyjnych dla modelu modułu PV typu Half-Cells przedstawiono na rys. 12. Zaprezentowane wyniki dotyczyły przypadku częściowego zacienienia modułu wg schematu pokazanego na rys. 11a.



Rys. 12. Wyniki badań weryfikacyjnych dla przypadku zacienienia wg schematu z rys. 11a wykonane dla modułu typu Half-Cells [wg A4]

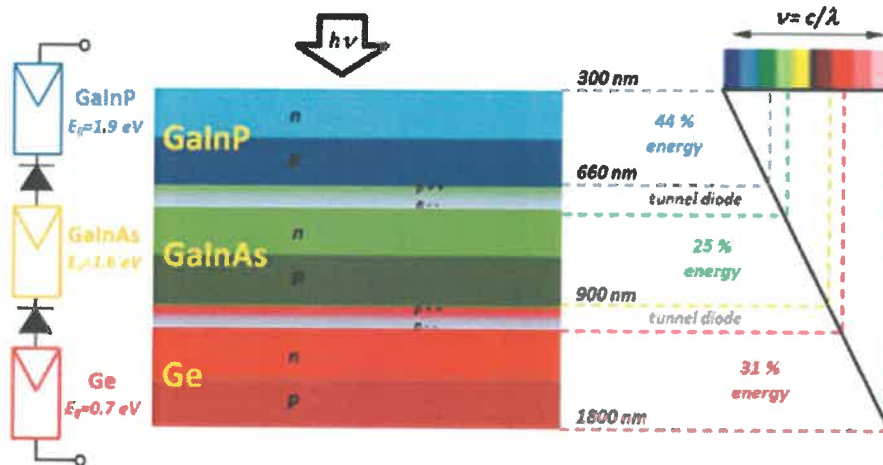
Badania modułu typu Half-Cells wykonane w pracy [A4] potwierdziły przydatność modelu do prowadzenia badań symulacyjnych dla tego rozwiązania konstrukcyjnego modułu PV, które zwiększa liczbę sekcji w budowie wewnętrznej z trzech do sześciu. Zaznaczone na rys. 12 odchyłki dla wartości napięcia i prądu na charakterystyce prądowo-napięciowej są relatywnie znacznie mniejsze niż to miało miejsce dla modułu klasycznego (zbudowanego z 60 ogniw PV podzielonych na trzy sekcje) przy podobnym sposobie częściowego zacienienia.

Ostatnim elementem wykonanych badań modelowych było zbudowanie i zweryfikowanie schematu symulacyjnego dla wysokowydajnego modułu PV, zbudowanego z 200 sztuk ogniw trój-złączowych z punktowo-skupiającymi koncentratorami Fresnela - model: CX-75/200. Dużym utrudnieniem przy modelowaniu takich unikatowych konstrukcji jest skromna dokumentacja techniczna podawana w kartach katalogowych producenta. Szczególnie mało informacji dotyczyło geometrii zastosowanych koncentratorów. Pierwszym etapem tych badań była prawidłowa identyfikacja obiektu badań i ustalenie struktury wewnętrznej budowy rozpatrywanego modułu PV, który w skrócie można oznaczyć jako moduł typu C3PV. Moduł ten charakteryzował się bardzo skomplikowaną strukturą wewnętrznych połączeń pojedynczych ogniw. Identyfikacji dokonano na podstawie dokładnych oględzin modułu CX-75/200 wykorzystanego do badań weryfikacyjnych modelu. W wyniku identyfikacji budowy wewnętrznej stwierdzono podział 200 sztuk ogniw na 4 sekcje po 50 sztuk ogniw wg dość skomplikowanego schematu połączeń, który przedstawiono na rys. 13. Taki schemat wewnętrznych połączeń determinuje wysokie napięcie wyjściowe i małe natężenia prądu w tego typu modułach.



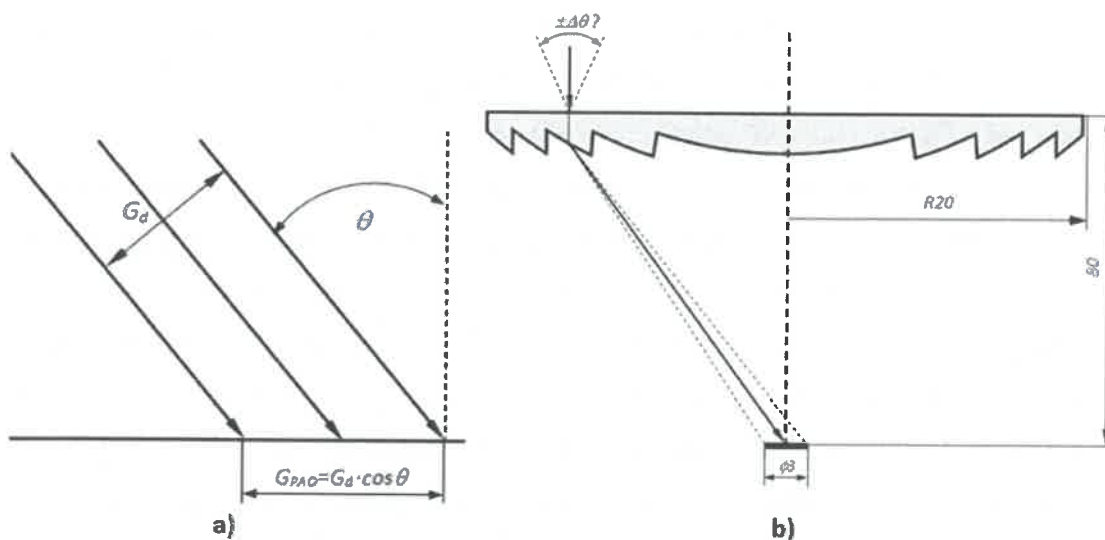
Rys. 13. Widok i schemat wewnętrznych połączeń ogniw dla modułu C3PV model: CX-75/200 - liniami kreskowymi zaznaczono połączenia wewnętrzne ogniw w module [wg A1]

Koncepcja modelowania pojedynczego ogniwa trójzłączowego (3J) polegała na zastosowaniu trzech szeregowo połączonych komponentów „Solar Cell” pakietu Matlab/Simulink, którą przedstawiono na rys. 14. Model pojedynczego ogniwa C3PV uwzględnia prawidłowości związane z selektywnością pochłaniania promieniowania słonecznego przez poszczególne warstwy trzech różnych materiałów półprzewodnikowych o różnych właściwościach.



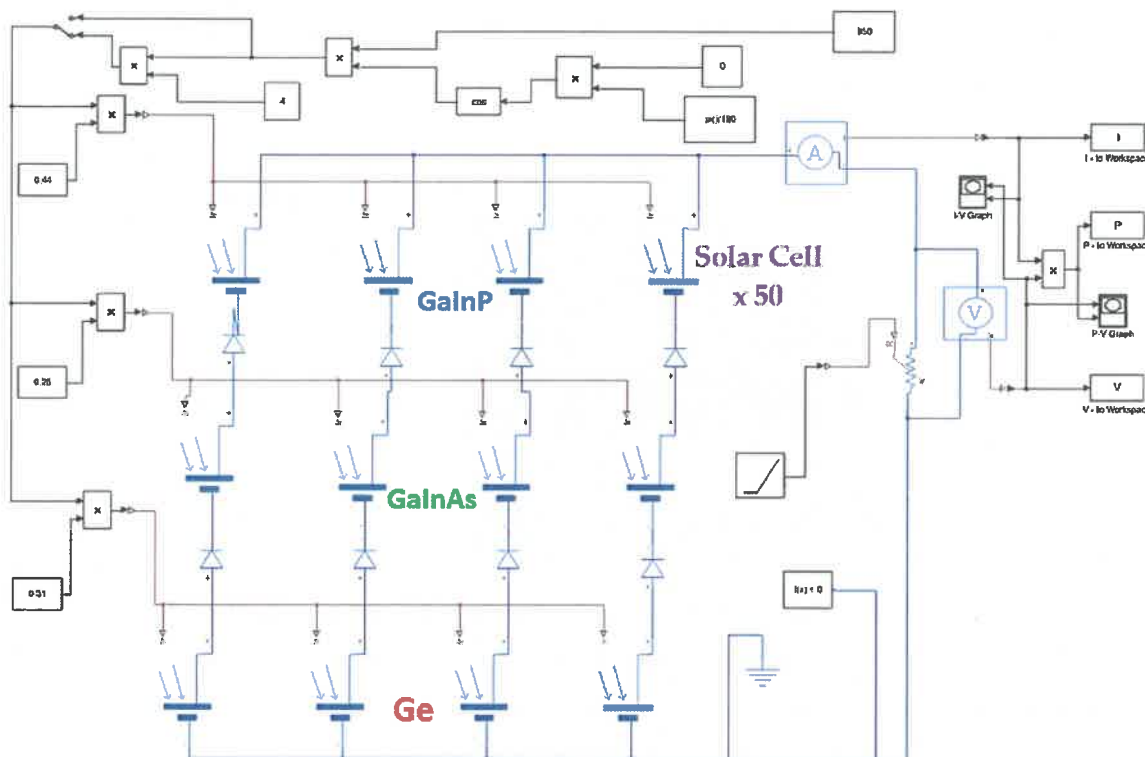
Rys. 14. Koncepcja modelowania pojedynczego ogniwa trójzłączowego [wg A1]

Wysokie wartości sprawności tego typu ogniw (nawet do 35%) są możliwe dzięki wykorzystaniu szerszego pasma widma promieniowania słonecznego. Efektywność takich rozwiązań jest możliwa jedynie dzięki zastosowaniu koncentratorów promieniowania słonecznego. Schemat skupiania promieniowania przez zastosowany w rozpatrywanym module punktowo-skupiający koncentrator Fresnela przedstawiono na rys. 15.



Rys. 15. Budowa i zasada funkcjonowania zastosowanego w module CX-75/200 koncentratora [wg A1]

Specyfika modelowania tego typu nietypowych rozwiązań polega na tym, że jest to działanie dedykowane dla konkretnego modułu. Schemat symulacyjny, który uwzględnia budowę pojedynczych trójzłączowych ogniw oraz koncentratorów promieniowania Fresnela przedstawiona na rys. 16.



Rys. 16. Model symulacyjny modułu C3PV – model: CX-75/200 [wg A1]

Weryfikacja badań modelowych dla modułu CX-75/200 była utrudniona, gdyż tego typu moduły ze względu na odmienny zakres parametrów (duże napięcia i małe natężenia prądów) nie są przystosowane do pomiarów pełnych charakterystyk prądowo-napięciowych. Z tego powodu weryfikacji poddano jedynie typowe punkty skrajne charakterystyk. Badania modelowe potwierdziły również bardzo ścisłą zależność funkcjonowania koncentratorów od prostopadłego do powierzchni modułu kierunku padania promieniowania. Tego typu niszowe rozwiązania konstrukcyjne modułów C3PV są dedykowane do użytkowania na tzw. trackerach, czyli mechanizmach nadążnych, które podążają za pozornym ruchem Słońca na niebie w warunkach naturalnych. Stosowanie tego typu rozwiązań na konstrukcjach stałych byłoby nieefektywne ze względu na geometrię zastosowanych koncentratorów.

Analiza badań weryfikacyjnych przedstawionych w pracach [A1] i [A4] prowadzi w konkluzji do sformułowania kolejnych wniosków:

Wniosek 3:

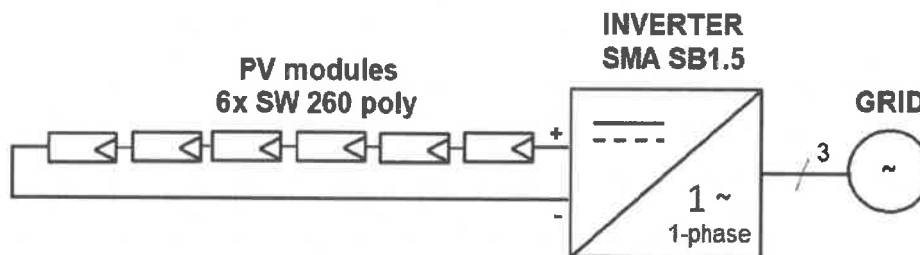
Badania modelowe modułów PV, zbudowanych z ogniw połówkowych i trój-złączowych, a także wyposażonych w koncentratory promieniowania, zostały pozytywnie zweryfikowane pod względem szacowania ilości generowanej energii przy zastosowaniu klasycznego modelu dwudiodowego ogniwa po szczegółowej identyfikacji struktury i pozostałych parametrów charakteryzujących rozpatrywane rozwiązania konstrukcyjne.

W przypadku zastosowania ogniw połówkowych moduł wykazywał ok. 20% mniejszy spadek wydajności energetycznej w stosunku do klasycznego modułu PV.

W przypadku modułu z koncentratorem promieniowania konieczne jest zastosowanie precyzyjnego mechanizmu trackera, gdyż już przy 5° odchyleniu kąta padania promieniowania słonecznego od prostopadłego do powierzchni modułu PV zaobserwowano drastycznie duże spadki mocy do ok. 92%.

4.4.2. Wyniki badań eksploatacyjnych

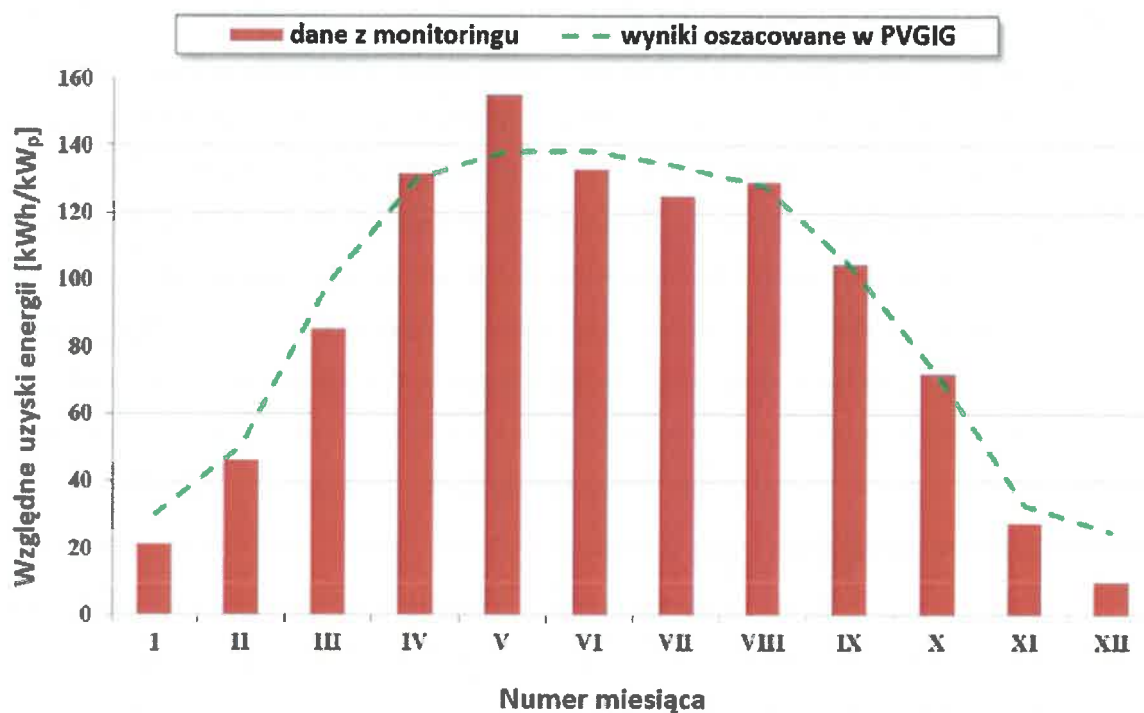
W pracy [A3] i [A8] autora przeprowadzono badania eksploatacyjne mikroinstalacji PV dołączonej do sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia, zbudowanej wg uproszczonego schematu przedstawionego na rys. 17.



Rys. 17. Uproszczony schemat mikroinstalacji PV o mocy szczytowej 1560 W_p [wg A3 i A8]

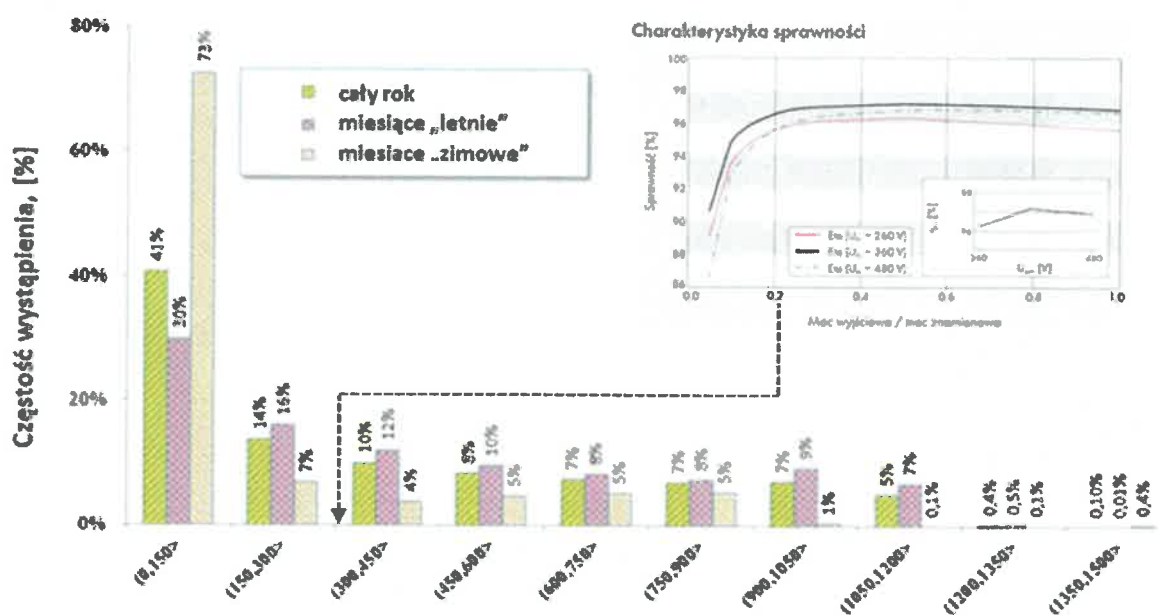
W pierwszym etapie badań eksploatacyjnych przeanalizowano i porównano względne uzyski z instalacji (w latach 2018 i 2019) z wynikami popularnego narzędzia do szacowania uzysków PVGIS [A3 i A8]. Generalnie stwierdzono, że szacunki te dość dobrze odzwierciedlały względne uzyski rzeczywiste, co przedstawia rys. 18. Takie porównania pokazują jednak występowanie pewnych fluktuacji wyników miesięcznych i pewnych różnic w porównaniach rok do roku. Analizy tego typu zestawień prowadzą do wniosku, że ok. 80% całkowitej ilości energii na terenach Polski jest generowana w półroczu letnim, czyli od kwietnia do września. Ta wyraźna asymetria powoduje bardzo duże trudności przy projektowaniu instalacji fotowoltaicznych typu off-grid. Instalacje takie projektowane do zastosowań całorocznych są w okresie letnim nieefektywne ze względu na duże ich

przewymiarowanie, spowodowane koniecznością zapewnienia ciągłości zasilania w okresie zimowym.



Rys. 18. Porównanie względnych uzysków z instalacji PV z wynikami symulacji w PVGIS [wg A8]

Do interesujących wniosków prowadzi z kolei analiza histogramu mocy wyjściowej falownika PV w tej instalacji przedstawiona na rys. 19. Okazało się, że dla rozpatrywanej konfiguracji falownik PV w tej instalacji jest niedociążony, gdyż większość czasu pracuje w zakresie niskich wartości mocy wyjściowych. Na dołączonej charakterystyce sprawności na rys. 19 zaznaczono zakres sprawności falownika, odpowiadający częstości występowania jego mocy rzeczywistej w badanym okresie. W analizowany okresie falownik funkcjonował w zakresie poniżej 20% nominalnej mocy, co w efekcie prowadziło do uzyskiwania niskich wartości sprawności. Pożądane warunki funkcjonowania falownika w tym przypadku to generowana moc wyjściowa powyżej 20% nominalnej i utrzymywanie napięcia wejściowego DC na poziomie ok. 360 V, przy którym jego sprawność jest maksymalna.

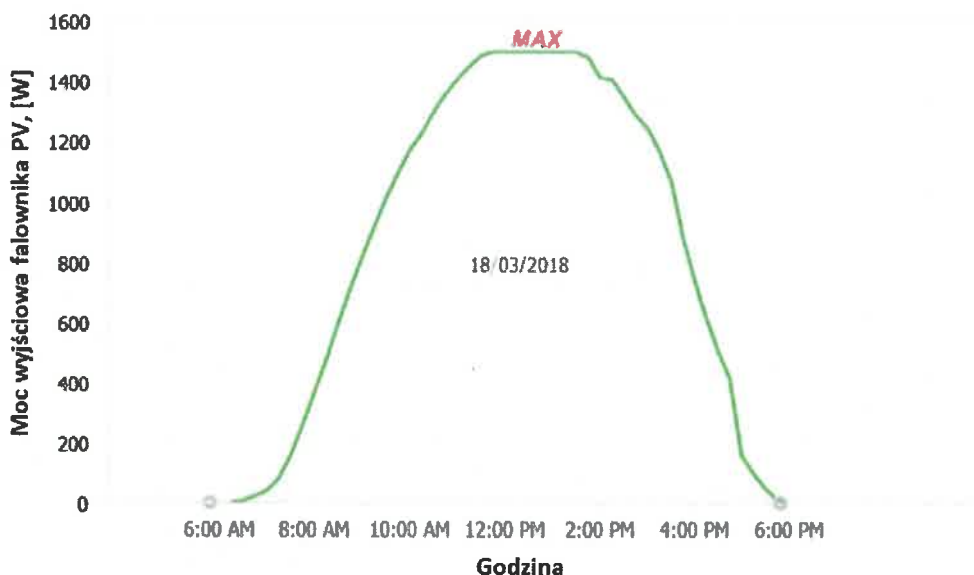


Szereg rozdzielczy mocy nominalnej falownika w zakresie od 0 do 1500 W

Rys. 19. Histogram rozkładu mocy wyjściowej (AC) falownika PV (1,5 kW) na podstawie rocznych danych z monitoringu [wg A3]

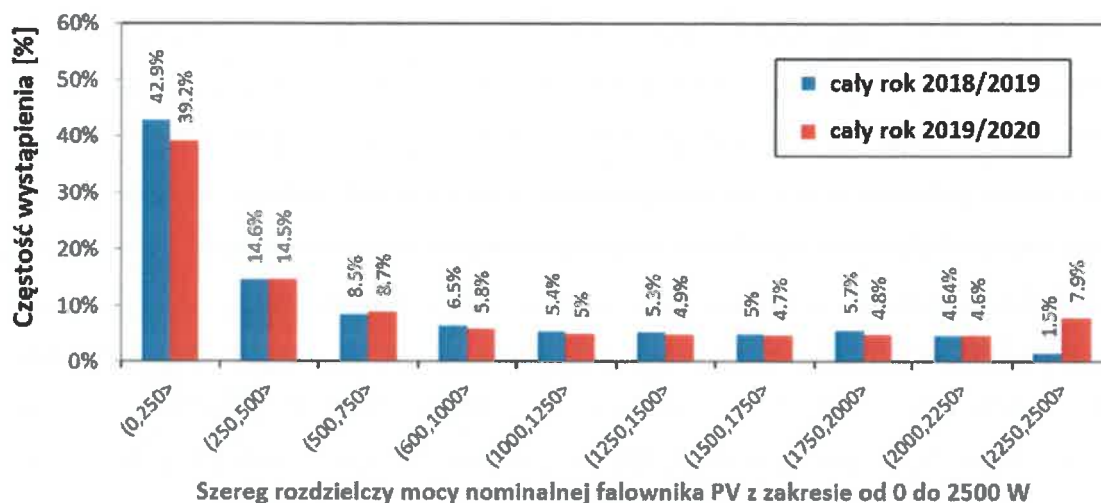
Wykonane w pracy [A3] obliczenia symulacyjne w aplikacji *Sunny Design* (aplikacja udostępniana przez producenta falownika), a następnie przeprowadzona optymalizacja przy przyjętych dwóch kryteriach: maksymalnego uzysku rocznego i maksymalnego współczynnika efektywności instalacji PV, doprowadziły do wyników, które jednoznacznie wskazywały na konieczność dołożenia do instalacji dodatkowego 7. modułu PV. Współczynnik efektywności (*ang. Performance Ratio*) - oznacza w tym przypadku stosunek energii wyprodukowanej przez system PV w warunkach rzeczywistych do energii, którą ten sam system byłby w stanie wyprodukować w warunkach nominalnych (STC).

Dodatkowym argumentem przemawiającym za zwiększeniem mocy szczytowej generatora była szczegółowa analiza dobowych wykresów mocy wyjściowej falownika PV. Falownik PV nigdy nie wygeneruje mocy większej od nominalnej i taka sytuacja w rozpatrywanej instalacji była incydentalna udało się odnaleźć nieliczne takie przypadki w całym roku eksploatacji (jak dotąd zaobserwowano 1-2 takie przypadki w roku). Taką przykładową sytuację pokazano na rys. 20. Strata wynikająca z braku możliwości przetworzenia niewielkiej ilości energii z generatora PV jest rekompensowana dużo większą ilością pozyskanej energii z instalacji w bilansie rocznym. Korzyści z takiego przewymiarowania mocy generatora PV w stosunku do mocy nominalnej falownika są szczególnie istotne dla instalacji, dla których sposób montażu modułów PV nie zapewnia optymalnego położenia (azymut i kąt pochylenia nie są optymalne).



Rys. 20. Incydentalny przykład osiągnięcia mocy nominalnej przez falownik [wg A8]

Podobne analizy wykonano dla innej mikroinstalacji PV, w której podczas rozpatrywanych okresów eksploatacji zwiększono liczbę modułów a tym samym moc szczytową z 2,7 kW_p do 3,24 kW_p przy niezmiennym falowniku PV (2,5 kW)[A5]. Porównanie uzysków tej instalacji przed dokonaniem modyfikacji i po dołożeniu dwóch dodatkowych modułów PV doprowadziło do konkluzji, że zwiększenie przewymiarowania, w dopuszczalnych granicach pozostałych parametrów elektrycznych, jest działaniem poprawiającym znacząco wydajność instalacji. Poza oczekiwanym wzrostem ilości wygenerowanej energii uzyskano korzystniejszy histogram rozkładu mocy wyjściowej falownika, który pokazano na rys. 21.



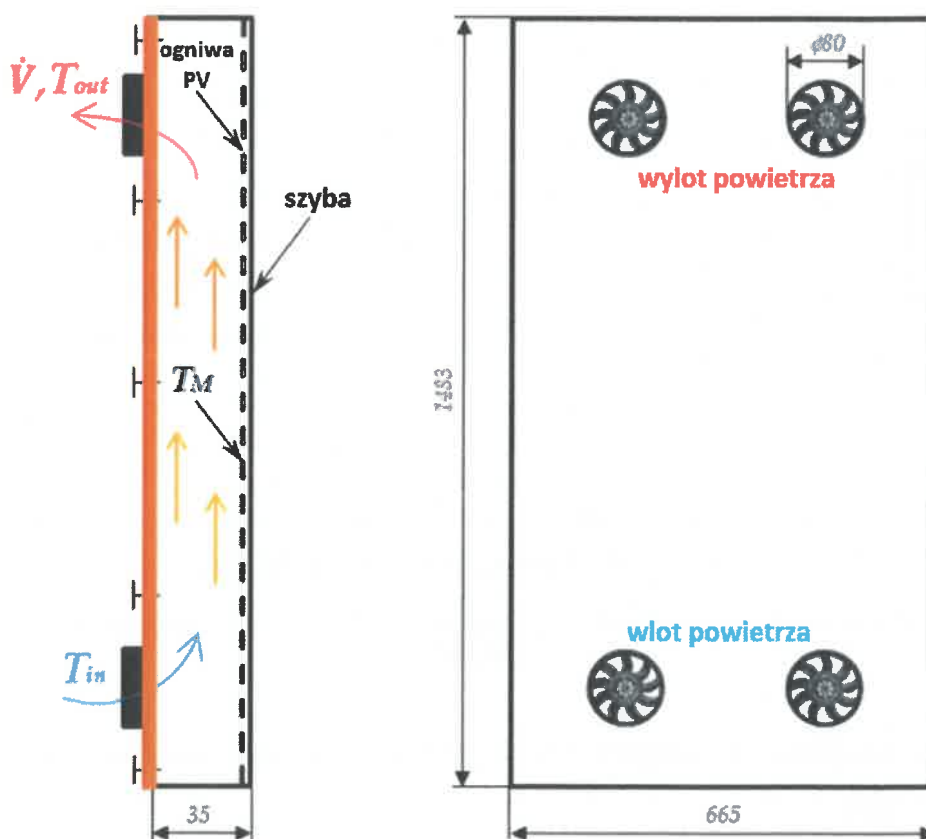
Rys. 21. Histogram rozkładu mocy wyjściowej (AC) falownika PV (2,5 kW) na podstawie rocznych danych z monitoringu [wg A5]

Na podstawie przedstawionych w pracach [A3], [A5] i [A8] badań eksploatacyjnych sformułowano kolejny wniosek:

Wniosek 4:

W warunkach klimatycznych centralnej Polski podstawowym kryterium przy projektowaniu instalacji PV dołączonych do sieci elektroenergetycznej powinno być założenie doboru maksymalnej mocy szczytowej generatora PV, jaką można bezpiecznie dołączyć do zastosowanego falownika PV, gdyż w takim przypadku jest większy względny uzysk energii oraz korzystniejszy jej rozkład w bilansie dobowym. Wyższy stopień przewymiarowania generatora PV w stosunku do nominalnej mocy falownika skutkuje ok. 2-krotnym zwiększeniem częstości czasu pracy falownika w zakresie mocy maksymalnej, w którym posiada on sprawność zbliżoną do nominalnej. Dodatkowym argumentem za przyjęciem takiego założenia projektowego jest ciągły powolny spadek mocy modułów PV, który obecnie producenci szacują na poziomie ok. 0,8% rocznie.

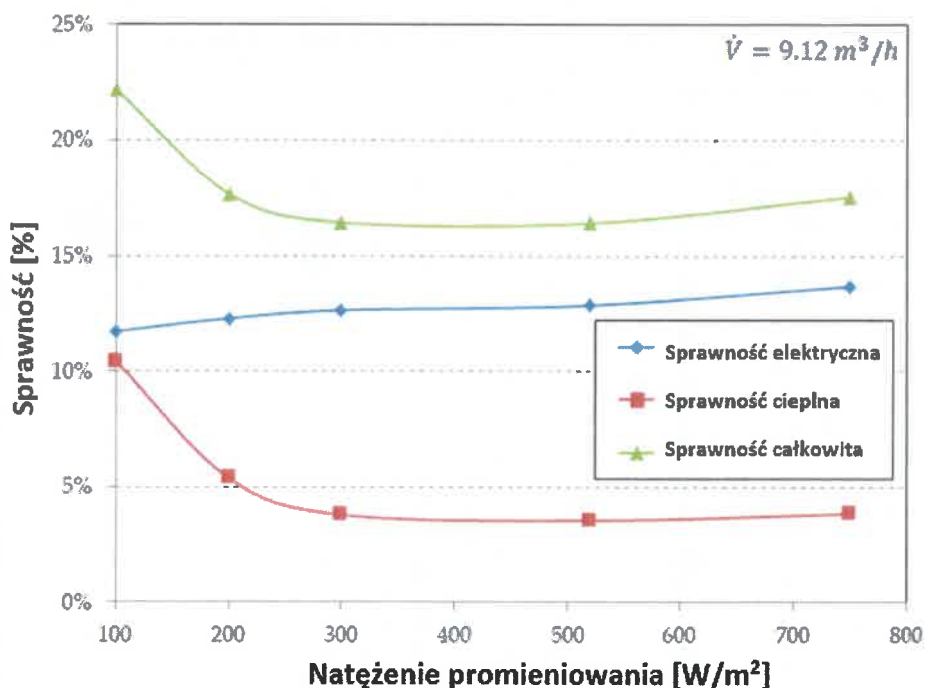
W pracy [A2] autor wykonał badania prototypowego zmodyfikowanego modułu PV, w którym zastosowano wymuszone chłodzenie powietrzem. Schemat zabudowy i miejsca instalacji wentylatorów przedstawiono na rys. 22.



Rys. 22. Schemat zabudowy prototypowego modułu PV do badania efektywności [wg A2]

Badania zrealizowano dla różnych intensywności promieniowania i różnych intensywności wentylowania, zmodyfikowanego modułu PV. Na podstawie pomiarów temperatury powietrza chłodzącego na wlocie i wylocie – obliczono ilość ciepła, która potencjalnie może być wykorzystana.

Na rys. 23 przedstawiono przykładowe wyniki wykonanych badań, z których można wnioskować, że potencjalny uzysk energii cieplnej w postaci podgrzania przepływającego powietrza, nie wpływa znacząco na zwiększenie sprawności elektrycznej. Modyfikacja prototypowego modułu PV, polegająca na wykonaniu zabudowy, w której następuje podgrzewanie przepływającego powietrza, spowodowała zmniejszenie efektu chłodzenia ogniw PV. Wzrost temperatury ogniw PV jest niepożądanym efektem ubocznym procesu bezpośredniej konwersji energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną, wynikającym z tego, że tylko w ograniczonym zakresie energia promieniowania słonecznego może podlegać konwersji, a pozostała jej część powoduje podgrzewanie materiału półprzewodnikowego.



Rys. 23. Zależność sprawności zmodyfikowanego modułu PV dla określonej intensywności wentylowania [wg A2]

Na podstawie przedstawionych w pracy [A2] badaniach eksploatacyjnych sformułowano kolejny wniosek:

Wniosek 5:

Modyfikacja konstrukcji modułu PV w celu równoczesnego pozyskiwania energii elektrycznej i ciepłej w postaci podgrzanego powietrza nie wpływa znacząco na zwiększenie jego sprawności całkowitej. W wykonanych badaniach na prototypowym module zaobserwowano ok. 2% wzrost sprawności elektrycznej przy równoległym ok. 5% spadku sprawności ciepłej, a najwyższe sprawności całkowite tego układu uzyskiwano przy największej wartości intensywności chłodzenia wymuszonego przepływającym powietrzem.

Kolejnym etapem rozpatrywanych badań eksploatacyjnych była analiza aspektów mechanicznych wpływających na proces projektowania instalacji PV [M1 i A9]. W kartach katalogowych modułów PV poza podstawowymi parametrami elektrycznymi podawane są również wybrane właściwości mechaniczne oraz wytyczne dotyczące ich montażu. Konstrukcja nośna modułów PV powinna uwzględniać następujące aspekty funkcjonalne całego systemu PV:

- ciężar generatora PV,
- czystość powierzchni czynnej generatora PV,
- naprężenia wynikające z dużego zakresu temperatur w czasie eksploatacji,
- wytrzymałość na ekstremalne podmuchy wiatru,
- wytrzymałość na zalegający śnieg i ewentualny system odśnieżania,
- optymalny układ przeprowadzenia tras okablowania DC,
- zaplanowanie skutecznego uziemienia konstrukcji,
- rozplanowanie optymalnych odstępów pomiędzy rzędami generatora PV,
- optymalny układ modułów w generatorze PV w zależności od ich typu,
- optymalny dobór materiałów konstrukcyjnych (długoterminowa odporność na korozję).

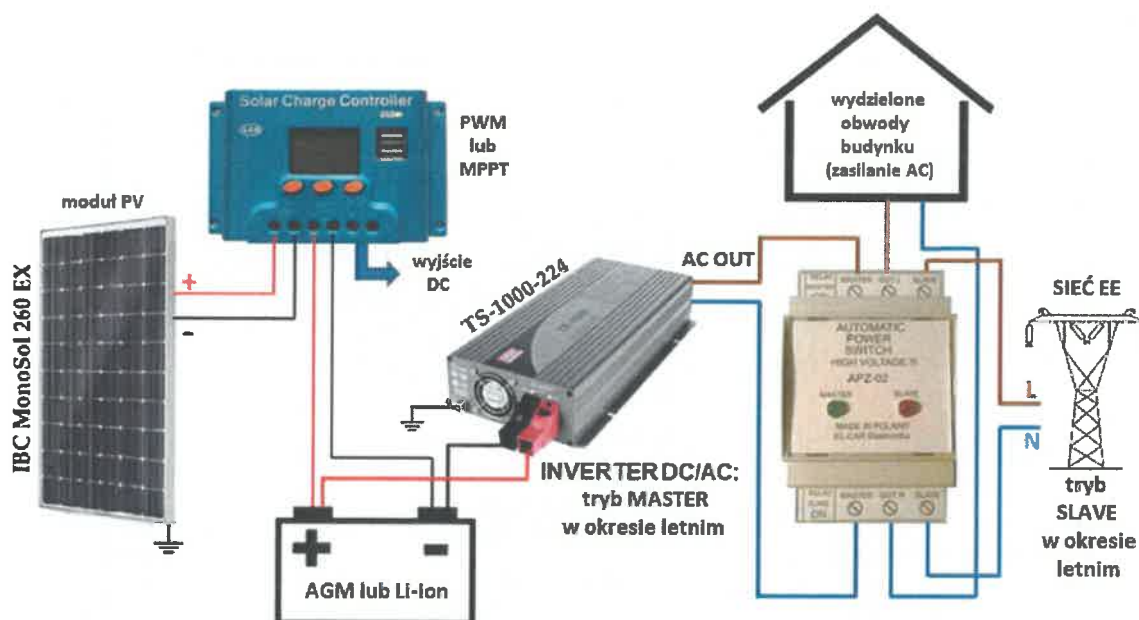
W pracy [A9] dokonano analizy potencjalnych zagrożeń wynikających z podatności modułów PV na efekty częściowego zacienienia i zanieczyszczenia. Pokazano preferencje dla poszczególnych typów konstrukcji modułów PV. Omówiono również metodykę optymalnego rozplanowania rozmieszczenia modułów PV w generatorze w instalacjach dachowych i wolnostojących. Podano również metodykę obliczeń konstrukcji wsporczych w przypadku wystąpienia krytycznych obciążeń od siły wiatru i obciążenia zalegającym śniegiem. W zakończeniu zaprezentowano również wytyczne w zakresie doboru materiałów w aspekcie odporności korozyjnej. Istotne są także zalecenia dotyczące takich szczegółów jak np. dopuszczalne momenty dokręcania śrub mocujących klemy montażowe modułów PV.

Na podstawie przedstawionych w pracach [M1] i [A9] analizach aspektów eksploatacyjnych sformułowano kolejny wniosek:

Wniosek 6:

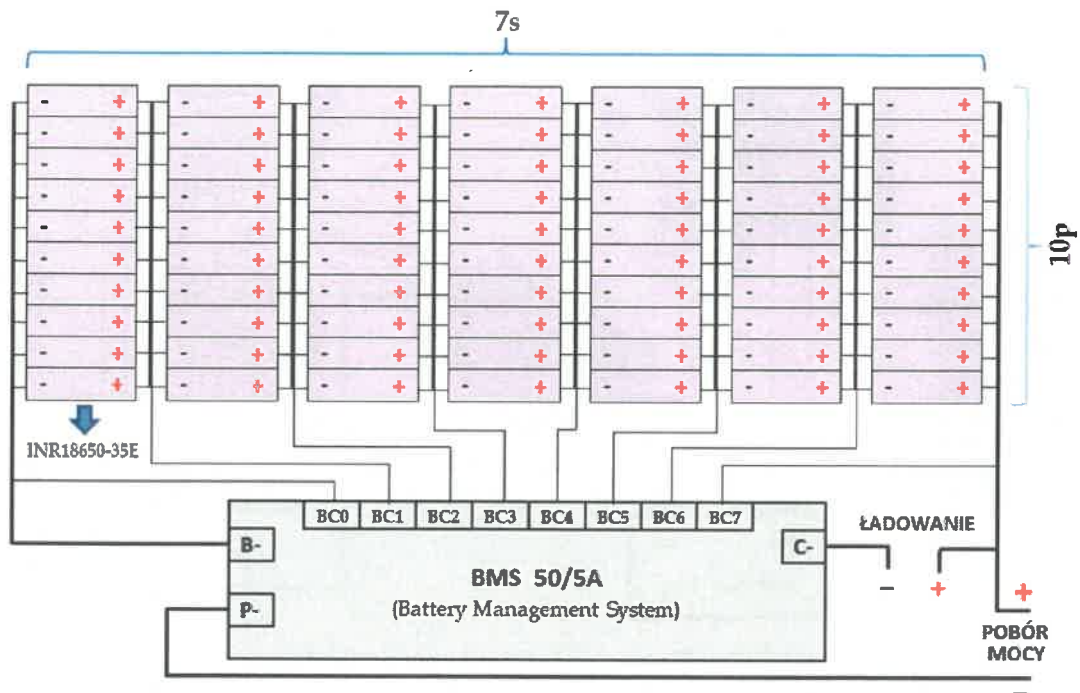
Zestaw elementów, z których budowane są konstrukcje wsporcze dla modułów PV, należy traktować jako całościowy i niezamienny system montażowy, na który jego producent otrzymał stosowne aprobaty i atesty, gdyż błędy popełnione na tym etapie budowy instalacji PV skutkują w przyszłości stratami ilości generowanej energii oraz skróceniem projektowanego wstępnie czasu efektywnego funkcjonowania systemu PV.

Ostatnim etapem rozpatrywanych badań eksploatacyjnych była analiza funkcjonowania autonomicznych systemów PV w warunkach klimatycznych Polski. W pracy [A11] porównano wydajność autonomicznego mini systemu fotowoltaicznego typu Off-Grid przeznaczonego do zasilania wydzielonych obwodów budynku mieszkalnego z wykorzystaniem akumulatorów AGM i Li-Ion do magazynowania energii. Zagadnienie to stanowi istotny problem związany z okresowym przeciążeniem linii przesyłowych niskiego napięcia z dużą liczbą dołączonych prosumenckich mikroinstalacji PV. Na rys. 24 przedstawiono przykładowy schemat systemu PV typu Off-Grid, przystosowanego do pracy z akumulatorami AGM lub Li-Ion. System ten posiada dwie możliwe konfiguracje automatycznego wyłącznika zasilania (APZ-02), współpracującego z siecią elektroenergetyczną w celu zasilania jedynie wydzielonych obwodów budynku mieszkalnego. Propozycja ta jest rozwiązaniem kompromisowym, które uwzględnia zróżnicowanie natężenia promieniowania słonecznego w Polsce w ciągu całego roku. Zaprojektowanie systemu dla minimalnej zimowej dawki promieniowania byłoby bardzo nieefektywne w okresie letnim.



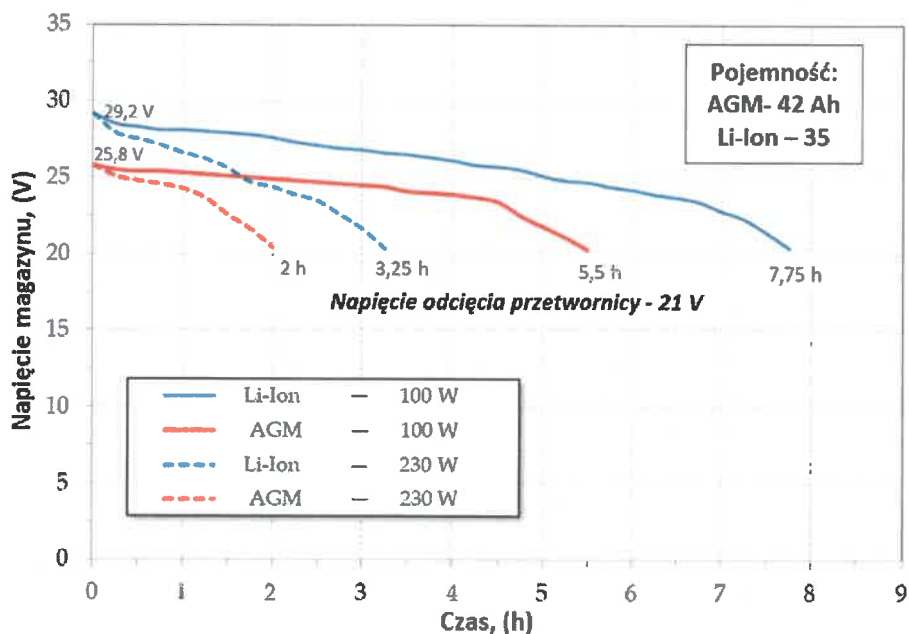
Rys. 24. Schemat systemu Off-Grid PV przystosowanego do pracy z akumulatorami AGM lub Li-Ion oraz możliwe konfiguracje automatycznego wyłącznika zasilania (APZ-02) współpracującego z siecią elektroenergetyczną w celu zasilania wydziałych obwodów budynku mieszkalnego [wg A11]

W testowanym autonomicznym systemie PV wykonano pomiary dla dwóch typów magazynów energii: akumulatorów AGM (2 sztuki połączone równolegle EPS 42-12 – system 24 V) oraz pakietu Li-Ion, zbudowanego z 70 sztuk ogniw w konfiguracji 7s10p, z wbudowanym układem BMS (Battery Management System). Schemat budowy prototypowego magazynu energii, wykonanego w technologii Li-Ion przedstawiono na rys.25. Nominalna gęstość energii wynosiła: 70 Wh/kg dla akumulatora typu AGM i 252 Wh/kg dla akumulatora typu Li-Ion.



Rys. 25. Schemat pakietu 7s10p zbudowanego z 70 szt. Ogniw Li-Ion model: INR18650-35E, zabezpieczone układem BMS (Battery Management System) [wg A11]

Wykonano badania weryfikacyjne dla dwóch stałych identycznych obciążeń AC: 100 W i 230 W przy zastosowaniu dwóch różnych systemów magazynowania energii: AGM i Li-Ion. Na rys. 26 przedstawiono wyniki tych badań w postaci charakterystyk rozładowania magazynów energii do chwili wyłączenia się przetwornicy, po osiągnięciu minimalnej wartości napięcia magazynu energii.



Rys. 26. Wyniki pomiarów weryfikacyjnych wykonanych w temperaturze otoczenia 19°C [wg A11]

Na podstawie przedstawionych w pracy [A11] analizach aspektów eksploatacyjnych autonomicznych systemów PV sformułowano kolejne dwa wnioski:

Wniosek 7:

Ze względu na wciąż wysokie koszty inwestycyjne systemów autonomicznych z magazynami energii elektrycznej należy je projektować dla wydzielonych strategicznych obwodów zasilania i dla ustalonego okresu eksploatacji. Budowa tego typu całorocznych systemów PV w Polsce jest nieefektywna energetycznie i dobrym kompromisem jest okresowa zmiana przeznaczenia: w okresie zimowym – zasilanie rezerwowe, a w okresie letnim – zasilanie podstawowe. W Polsce ok. 80% energii w systemach PV jest generowana w „półroczu letnim”, czyli od 1 kwietnia do 30 września.

Wniosek 8:

Ze względu na dominujący cykliczny tryb pracy magazynów energii elektrycznej, stosowanych w autonomicznych systemach PV, zdecydowanie wydajniejszymi rozwiązaniami są w tym zakresie litowe magazyny energii, w porównaniu z magazynami na bazie ogniw kwasowo-ołowiowych. W systemach zasilających wybrane obwody budynku mieszkalnego, dla magazynów energii elektrycznej wykonanych w obu technologiach o porównywalnej wielkości, uzyskano ponad 2-krotnie dłuższe czasy zasilania zastępczego.

4.5. Utylitaryzm wyników wykonanych badań

Zweryfikowane badania modelowe ogniw i modułów PV w zakresie przedstawionych przypadków mają wyraźne zastosowania praktyczne, polegające na wykonaniu badań symulacyjnych już na etapie koncepcyjnym projektowanych aplikacji instalacyjnych. Można w ten sposób realizować badania symulacyjne dla wielu różnych wariantów konfiguracji instalacji PV i różnych warunków klimatycznych.

Prezentowane w przedłożonych pracach badania modelowe mogą być stosunkowo łatwo adoptowane do innych niż prezentowane przypadki sytuacji modelowanych, np. zamiast zacienienia można w podobny sposób modelować wpływ zanieczyszczenia powietrza i zalegających na instalacji PV osadów.

Badania eksploatacyjne w zaproponowanym zakresie mogą być prowadzone dla większości instalacji PV, które posiadają zaawansowane moduły monitoringu i gromadzenia danych. Przedstawiona metodyka badań eksploatacyjnych jest powtarzalna, a wnioski będą zależały od lokalizacji i związanych z nią warunków klimatycznych.

Omówione badania eksploatacyjne stanowią studium przypadku dla lokalizacji w centralnej Polsce. Ich znaczenie będzie rosło, gdyż aktualnie w Polsce obserwowany jest

dynamiczny wzrost liczby nowopowstających instalacji PV (aktualnie 4 pozycja w Europie). Najnowsze zmiany w zakresie wsparcia dla inwestycji w mikroinstalacje PV (do 50 kW_p) w Polsce, polegające na zamianie *net-meteringu* na *net-billing* (od 1 kwietnia 2022 r.), wymuszą większą precyzję w metodyce projektowania, aby czas zwrotu inwestycji nie uległ wydłużeniu.

Obowiązujący w Polsce do 31.03.2022 r. *system net-meteringu*, polegał na tzw. opustach, czyli możliwości traktowania przez prosumentów sieci elektroenergetycznej jako magazynu dla nadwyżek energii generowanej w systemie fotowoltaicznym, a więc *na ilościowym bilansowaniu energii*. Dzięki systemowi net-meteringu nadwyżka wyprodukowanej energii może być magazynowana w sieci energetycznej przez okres 365 dni. Wielkość opustu zależna jest od wielkości instalacji: w przypadku mikroinstalacji do 10 kW_p – opust wynosi 0,8 kWh za każdą 1 kWh wprowadzonej do sieci energii, a powyżej 10 kW_p – opust wynosi 0,7 kWh za każdą 1 kWh wprowadzonej do sieci energii. Zaletą net-meteringu jest to, że prosument nie traci nadwyżek wyprodukowanej energii, ale może ją magazynować i to bez dodatkowego sprzętu w postaci magazynów energii elektrycznej. Dzięki temu systemowi właściciel może wykorzystać nadmiar energii (wyprodukowany w długie, słoneczne dni) zimą, gdy produkcja energii jest niewielka. System opustów sprawia, że inwestycja w fotowoltaikę jest bardzo opłacalna, a dzięki odpowiednio dobranej mocy instalacji uwzględniającej warunki net-meteringu, rachunki za energię składają się jedynie z opłat stałych.

Obowiązujący od 1.04.2022 r. *system net-billingu zakłada wartościowe rozliczanie nadwyżek energii*, w ramach którego prosument będzie ponosił koszty w postaci opłaty dystrybucyjnej zmiennej. Natomiast zostanie zwolniony z obowiązku odprowadzania podatku dochodowego PIT, akcyzy i VAT. Prosument zostaje objęty nim na okres 15 lat, natomiast nadwyżki energii będzie mógł rozliczać w ciągu 12 miesięcy. Celem wprowadzenia tej zmiany było umożliwienie przyłączenia się do sieci większej liczby prosumentów przy zapewnieniu bezpieczeństwa pracy przestarzałego systemu elektroenergetycznego w Polsce oraz otworzenie się prosumentów na nowe modele biznesowe. Wymóg wprowadzenia nowego modelu rozliczeń nakazują również regulacje unijne (tzw. Dyrektywa Rynkowa oraz Dyrektywa RED II). W systemie net-billingu prosument staje się aktywnym uczestnikiem rynku energii poprzez zwiększenie autokonsumpcji energii elektrycznej, zarządzanie, magazynowanie oraz jej sprzedaż po cenach rynkowych z Rynku Dnia Następnego (RDN). Nowy system rozliczeń prosumentów jest bardziej skomplikowany i mniej korzystny, a ponadto wymusza zwiększenie autokonsumpcji energii elektrycznej.

Perspektywa dalszego rozwoju fotowoltaiki w Polsce będzie musiała bazować na większych instalacjach i prawdopodobnie nieunikniony będzie rozwój, tzw. *agrowoltaiki*, czyli synergicznego łączenia wybranych upraw rolnych z współistniejącymi farmami PV.

4.6. Podsumowanie najważniejszych cech składników osiągnięcia naukowego

Przedłożone do oceny składniki osiągnięcia naukowego pod tytułem „*Badania modelowe i eksploatacyjne systemów fotowoltaicznych*” w dyscyplinie *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka* w dziedzinie nauk *inżynieryjno-technicznych* wpisuje się w zakres energetyki odnawialnej. Wykonane badania modelowe jak i eksploatacyjne przedstawione w przedłożonych składnikach osiągnięcia naukowego są wzajemnie komplementarne, prezentują oryginalne i uniwersalne metody badawcze, a uzyskane wyniki posiadają szeroki potencjał adaptacyjny i aplikacyjny. Całokształt zagadnień teoretycznych oraz główne kierunki dotychczasowych badań z zakresu podjętej tematyki omówiono w monografii naukowej.

W zakresie *badania modelowych* w przedłożonych artykułach naukowych zbudowano i zweryfikowano modele modułów fotowoltaicznych, umożliwiające badania symulacyjne różnych zjawisk środowiskowych, w których mogą funkcjonować. Modele te bazują na ogólnej koncepcji podobieństwa budowy ogniwa fotowoltaicznego do diody półprzewodnikowej, ale w swojej strukturze i aplikacji są oryginalnymi opracowaniami autora.

W zakresie *badania eksploatacyjnych*, funkcjonujących systemów fotowoltaicznych, wyniki wykonanych przez autora badań stanowią istotny wkład w metodykę projektowania nowych systemów fotowoltaicznych w rozpatrywanej lokalizacji.

W dalszej części podsumowania rozwinięto powyższą konkluzję dotyczącą przedłożonego osiągnięcia naukowego.

Monografia naukowa [M1] stanowi opracowanie naukowe całokształtu zagadnień związanych z istotą zjawiska fotowoltaicznego oraz budową i eksploatacją systemów fotowoltaicznych. Ze względu na interdyscyplinarność i złożoność tematyki związanej z fotowoltaiką, zawiera liczne odnośniki bibliograficzne do zagadnień z innych pokrewnych dyscyplin naukowych. Szczegółowo omówiono zagadnienia związane z budową i eksploatacją generatorów fotowoltaicznych, a w szczególności wpływu warunków klimatycznych na ich funkcjonowanie.

Badania modelowe przedstawione w publikacjach [A1; A4; A6; A7; A10 i M1], będących składnikami osiągnięcia naukowego, polegały na opracowaniu i zweryfikowaniu kilku modeli symulacyjnych dla różnych typów modułów fotowoltaicznych. Zakres badań obejmował moduły zbudowane z ogniwa, które można modelować schematami zastępczymi

diodowymi, czyli takimi, które wykazują w swojej strukturze podobieństwa do budowy diody półprzewodnikowej. Opracowano modele symulacyjne dla modułów fotowoltaicznych o klasycznej budowie z pełnowymiarowych ogniw krzemowych z wewnętrznym podziałem na trzy sekcje, model coraz częściej obecnie stosowanych modułów wykonanych z ogniw połówkowych (Half-Cells) z podziałem na sześć sekcji oraz model eksperymentalnego modułu zbudowanego z 200 sztuk ogniw trójzłączowych (z trzech różnych materiałów półprzewodnikowych) z punktowo-skupiającym koncentratorem Fresnela (C3PV). Narzędziem zastosowanym do budowy modeli i badań symulacyjnych jest pakiet obliczeń inżynierskich Matlab/Simulink, spełniający postulat powtarzalności przeprowadzonych badań, a przejrzystość graficznej prezentacji algorytmów umożliwia ich dalszy rozwój, adaptacje i modyfikacje. Pomimo, że przeprowadzone badania symulacyjne stanowiły zawsze konkretne studium przypadku, w którym modelowano moduły zastosowane do późniejszej ich weryfikacji, to zastosowana metodyka posiada bardzo szerokie możliwości aplikacyjne. Celem nadrzędnym badań symulacyjnych jest optymalizacja budowy i eksploatacji generatorów fotowoltaicznych w różnych warunkach promieniowania słonecznego i temperatury otoczenia. Można również w ten sposób szacować wpływ takich czynników jak: częściowe zacinienie, zabrudzenie, zmniejszenie przejrzystości laminatu, miejscowe przegrzewanie i innych na uzyski energetyczne generatorów fotowoltaicznych i ich konfiguracje.

W *badaniach eksploatacyjnych* przedstawionych w publikacjach [A3; A5; A6; A8 i M1], będących składnikami osiągnięcia naukowego, opracowano metody analizy danych dostępnych z monitorowania funkcjonowania instalacji fotowoltaicznych, które są rejestrowane najczęściej na zdalnych serwerach producentów falowników. Różny jest zakres dostępnych parametrów w stosowanych aktualnie urządzeniach, a coraz częstszą praktyką jest równoległe monitorowania rzeczywistych parametrów pogodowych, co ma szczególne uzasadnienie przy projektowaniu instalacji z lokalnymi magazynami energii. Niezależnie od specyfiki zastosowanych urządzeń praktycznie zawsze dostępne są dobowe, miesięczne, roczne i całkowite wykresy mocy wyjściowej falownika fotowoltaicznego, zarówno w wartościach bezwzględnych jak i względnych w odniesieniu do mocy generatora PV z rozdzielczością rejestracji danych najczęściej co 5 lub 15 minut. Częstotliwość rejestracji danych pomiarowych ma w przypadku badań eksploatacyjnych istotne znaczenie. W pracy [A5] przeanalizowano dynamikę zmian wartości natężenia prądu generatora PV w stosunku do zmienności natężenia promieniowania słonecznego oraz napięcia generatora PV w zależności od zmian temperatury otoczenia i temperatury modułu PV. W pierwszym przypadku zaobserwowano opóźnienie w reakcji na

zmianę natężenia promieniowania słonecznego, wynoszącą ok. 5 min., czyli tyle ile wynosiła częstotliwość rejestracji wyników, a w drugim przypadku reakcja na zmianę temperatury otoczenia była wolniejsza i wynosiła ok. 10 min. Na tej podstawie można stwierdzić, że dla poprawności przeprowadzania tego typu analiz częstotliwość rejestracji uśrednianych wyników pomiarów nie powinna być większa niż 5 min. Analiza danych w badaniach eksploatacyjnych rejestrowanych z różną częstotliwością pomiarów, prowadzi do rozbieżności w obliczanych na tej podstawie względnych uzysków energii, uzyskiwanych z generatora PV.

W warunkach klimatycznych Polski centralnej, na podstawie kilkuletnich obserwacji, można stwierdzić wyraźną asymetrię w ilości generowanej energii w ciągu roku i podzielić rok kalendarzowy na dwie równe czasowo części: kwiecień-wrzesień (ok. 80% energii całorocznej) i październik-marzec (ok. 20% energii całorocznej). Bardziej szczegółowe analizy (szeregi rozdzielcze mocy wyjściowej falownika dla dużych zbiorów danych) doprowadziły do jednoznacznej konkluzji [A3; A5 i A8], polegającej na postulacie projektowania nowych instalacji fotowoltaicznych z możliwie największym dopuszczalnym stopniem przewymiarowania generatora PV w stosunku do nominalnej mocy falownika. W literaturze można spotkać różne interpretacje tego wskaźnika, co zostało szczegółowo omówione w podrozdziale 4.5 monografii [M1].

Badania eksploatacyjne prowadzono również w kierunku zbadania wpływu chłodzenia i ewentualnego pozyskiwania poza energią elektryczną energii w postaci ogrzanego powietrza [A2]. Współczynniki temperaturowe podawane przez producentów modułów PV wskazują na liniowo-odwrotną zależność pomiędzy temperaturą a mocą wyjściową. W rzeczywistych warunkach eksploatacji jest to zagadnienie bardziej złożone i istotny wpływ mają tu aspekty mechaniczne [A9] budowy konstrukcji wsporczych, wynikające ze sposobu montażu, kąta pochylenia, itp.

Szczególnie złożone jest zagadnienie projektowania systemów PV wyposażonych w magazyny energii, a w szczególności systemy autonomiczne (tzw. off-grid) w strefie klimatycznej centralnej Polski. W pracy [A11] zweryfikowano propozycję wariantowego rekonfigurowanego projektu prototypowego systemu PV, w którym zastosowano dwa rodzaje magazynów energii (AGM i Li-Ion). Propozycja ta umożliwia racjonalne wykorzystanie elementów systemu w ciągu całego roku. Projektowanie systemów off-grid całorocznych byłoby nieefektywne, gdyż w okresie letnim dominowałaby jałowa praca generatorów PV. Zagadnienie to jest aktualnie przedmiotem intensywnych badań również w przypadku systemów sieciowych (on-grid), gdyż w obecnym stanie prawnym i przy zmiennych warunkach

klimatycznych projektowanie wielkości instalacji PV z magazynem energii elektrycznej jest problemem bardzo złożonym.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

(pełne wersje elektroniczne poświadczeń zamieszczono na nośniku USB w załączniku nr 6 do wniosku - nazwy plików rozpoczynają się od oznaczeń poświadczeń w autoreferacie: P1; ...; P15)

5.1. Od roku 1995 współpracuję z **Uniwersytetem Warmińsko-Mazurskim** (wcześniejsza nazwa to Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie) w zakresie badań procesu obłuskiwania nasion na Wydziale Nauk Technicznych. Byłem współorganizatorem I międzyuczelnianego Seminarium nt. „Obłuskiwanie nasion” w 1996 roku, a efektem tej współpracy było napisanie pod kierunkiem prof. Leszka Mieszkalskiego rozprawy doktorskiej oraz pięciu artykułów naukowych (załącznik nr 4 do wniosku - podpunkty: 2.4.1; 2.4.3; 2.4.4; 2.4.5 i 2.4.6). Tematyka rozprawy doktorskiej była również przedmiotem pozyskanego i ukończonego w roku 1998 - grantu promotorskiego KBN. Od roku 2000 współpraca jest kontynuowana w **Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie**, a jej zakres został rozszerzony o zagadnienia związane z fotowoltaiką w wyniku współpracy z Wydziałem Inżynierii Produkcji. Efektami tej współpracy były dwie publikacje (załącznik nr 4 do wniosku - podpunkty: 2.2.13 i 2.2.14) oraz wygłoszony referat na konferencji naukowej (załącznik nr 4 do wniosku - podpunkt: 2.7.11).

5.2. Od roku 2015 ściśle współpracuję z **wydawnictwem Grupa MEDIUM**, które jest również wydawcą miesięcznika **Elektro.Info** (ISSN 1642-8722). Efektem współpracy są dwie wydane książki monografia naukowa i podręcznik z zakresu systemów fotowoltaicznych (załącznik nr 4 do wniosku - podpunkty: 2.1.1 i 2.1.2) oraz cykl czterech publikacji (załącznik nr 4 do wniosku - podpunkty: 2.4.14; 2.4.17; 2.4.23 i 2.4.24). Na zaproszenie wydawnictwa wygłosiłem pięć wykładów na konferencjach szkoleniowych (załącznik nr 4 do wniosku - podpunkty: 2.7.8; 2.7.9; 2.7.10; 2.7.13 i 2.7.22). W roku 2016 otrzymałem nagrodę miesięcznika Elektro.Info – **Verba Docent** [poświadczenie P13]. W roku 2022 Wydawnictwo MEDIUM na wniosek działu Solar Energy austriackiego producenta falowników fotowoltaicznych **FRONIUS** zleciło mi przygotowanie II wydania podręcznika dla instalatorów (załącznik nr 4 do wniosku - podpunkt: 2.1.1), który zamówiono jako materiał pomocniczy do szkoleń

specjalistycznych Fronius System Partner (FSP) [poświadczenie P6]. Jestem również uczestnikiem w roli eksperta cyklicznych Konferencji FSP (najbliższa 7 edycja odbędzie się w dniach 24-25.11.2022 w Sopocie).

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

6.1. Prowadzone przedmioty dydaktyczne i prace dyplomowe:

Od roku 1994 prowadzę zajęcia dydaktyczne z wielu różnych przedmiotów na kierunku studiów mechanika i budowa maszyn, aktualnie są to następujące zajęcia dydaktyczne w różnych formach (stacjonarnej i niestacjonarnej oraz zdalnej [poświadczenie P11]):

- *Technologia informacyjna w inżynierii mechanicznej (ćwiczenia projektowe)*,
- *Obliczenia inżynierskie (wykłady i ćwiczenia projektowe)*,
- *Projektowanie systemów fotowoltaicznych (wykłady i ćwiczenia projektowe)*.

Od roku 1998 prowadzę jako promotor i recenzuję prace dyplomowe: pełniłem w tym czasie rolę *promotora 20 prac dyplomowych inżynierskich i 21 prac magisterskich* oraz *recenzenta 22 prac inżynierskich i 17 prac magisterskich*.

6.2. Nagrody Rektora PW [poświadczenie P3]:

W latach 2005-2022 otrzymałem łącznie **7 nagród Rektora Politechniki Warszawskiej**:

- indywidualna stopnia III za osiągnięcia dydaktyczne w roku 2005,
- indywidualna stopnia II za osiągnięcia dydaktyczne w roku 2008,
- zespołowa stopnia II za osiągnięcia naukowe w latach 2011-2012,
- zespołowa stopnia I za osiągnięcia organizacyjne w roku akademickim 2015/2016,
- indywidualna stopnia II za osiągnięcia naukowe w latach 2014-2015,
- indywidualna stopnia II za osiągnięcia naukowe w roku akademickim 2019/2020.
- indywidualna stopnia II za osiągnięcia dydaktyczne w roku 2021.

6.3. Nagroda za popularyzację nauki:

Za działalność na gruncie popularyzacji nauki w roku 2016 otrzymałem nagrodę *Verba Docent*, przyznaną przez redakcję miesięcznika Elektro.Info (Grupa Medium - Warszawa) [poświadczenie P13].

6.4. W roku 2017 otrzymałem *Srebrny Krzyż Zasługi* za działalność naukową od Prezydenta RP [poświadczenie P5].

6.5. Prowadzę ścisłą współpracę ze **Stowarzyszeniem Inżynierów i Techników Mechaników Polskich (SIMP)**. Posiadam tytuł *Rzeczoznawcy SIMP (specjalność:*

801 – budowa i eksploatacja systemów fotowoltaicznych) [poświadczenie P1] oraz tytuł *Wykładowcy SIMP* [poświadczenie P15]. Ze stowarzyszeniem współpracuję również na gruncie energetycznej *Komisji Kwalifikacyjnej nr 228* (Grupa G1) [poświadczenie P7]. W zakresie działalności w SIMP współorganizuję cykliczne imprezy: **Płockie i Mazowieckie Dni Techniki**, na których biorę udział w dyskusjach panelowych i przygotowuję wykłady tematyczne (załącznik 4 do wniosku - podpunkt 2.7.19).

6.6. Jestem członkiem **Towarzystwa Naukowego Płockiego (TNP)** [poświadczenie P14], w którym działam aktywnie w Sekcji Nauk Technicznych, która organizuje cyklicznie tematyczne sesje naukowe, seminaria i prelekcje.

6.7. Od roku 2017 współpracuję z **Urzędem Dozoru Technicznego (UDT)** w Warszawie w zakresie Komisji Egzaminacyjnej OZE: *Systemy fotowoltaiczne (PV)*.

7. Inne ważne informacje, dotyczące kariery zawodowej wnioskodawcy

7.1. W latach 2002-2008 pełniłem funkcję *Zastępcy Dyrektora Instytutu Inżynierii Mechanicznej ds. dydaktycznych* na Wydziale Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej Filii w Płocku. Do najważniejszych zadań nadzorowanych w tym okresie należało przygotowywanie dokumentacji procesu dydaktycznego dla kierunku studiów *mechanika i budowa maszyn* na potrzeby bieżącej działalności i procesów akredytacyjnych.

7.2. Od roku 2020 pełnię funkcję *Dyrektora Instytutu Inżynierii Mechanicznej* na Wydziale Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej Filii w Płocku. Do głównych zadań zrealizowanych w zakresie pełnienia tej funkcji należało: *koordynowanie ze strony Uczelni procesu zdalnej akredytacji przez Polską Komisję Akredytacyjną* kierunku studiów *mechanika i budowa maszyn* (25-26.03.2021 r.) oraz nadzorowanie działalności naukowej pracowników Instytutu i jej ewaluacji za okres 2017-2021.

7.3. W roku 2020 ukończony został w Instytucie Inżynierii Mechanicznej ważny projekt pt. *„Utworzenie Centralnego Laboratorium Mechaniki i Budownictwa w Płocku”*, współfinansowany z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (EFRR) w ramach **Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Mazowieckiego (RPO WM) na lata 2014-2020 - Działanie 1.1 Działalność badawczo-rozwojowa jednostek naukowych** - o łącznej wartości projektu: 4 610 101,02 zł. Realizacja tego projektu znacząco wzbogaciła wyposażenie Instytutu w zaawansowaną aparaturę

badawczą. Przedsięwzięcie to zostało wyróżnione przez kapitułę plebiscytu „Z *Tumskiego Wzgórza*”, organizowanego cyklicznie przez redakcję Tygodnika Płockiego jako wydarzenie roku 2020 w kategorii „*Inicjatywy gospodarcze i społeczne*”. W zakresie realizacji tego projektu m. in. *zbudowano referencyjną instalację fotowoltaiczną* z kompleksowym monitoringiem parametrów jej funkcjonowania i pomiarami lokalnych warunków klimatycznych.

- 7.4. W roku 2022 w wyniku konkursu, ogłoszonego w ramach realizacji w Politechnice Warszawskiej programu „Inicjatywa doskonałości – uczelnia badawcza”, zwanego „programem IDUB”, **ENERGYEDULAB** uzyskałem finansowanie w wysokości 67 725,00 zł projektu pt. „*Budowa pracowni podstaw konwersji energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną*” - jestem kierownikiem tego projektu, którego zakończenie zaplanowano na czerwiec 2023 r.



.....
(podpis wnioskodawcy)



Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii w Płocku

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

**Wykaz osiągnięć naukowych, stanowiących
znaczny wkład w rozwój dyscypliny
inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka
w dziedzinie
*nauk inżynieryjno-technicznych***

dr inż. Mariusz Tomasz Sarniak

(ORCID: 0000-0001-6729-921X)



Płock, 2022

Spis treści

1.	Informacja o osiągnięciach naukowych, o których mowa w art. 219 ust. 1. pkt 2 Ustawy.....	4
1.1.	Monografia naukowa, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2a Ustawy.....	4
1.2.	Cykl powiązanych tematycznie 11-tu artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy	4
2.	Informacja o aktywności naukowej	6
2.1.	Wykaz opublikowanych monografii naukowych niewymienionych w pkt 1.1	6
2.2.	Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych	6
2.3.	Informacja o członkostwie w redakcjach naukowych monografii	7
2.4.	Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych niewymienionych w pkt 1.2.8	9
2.5.	Wykaz osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych.....	9
2.6.	Wykaz publicznych realizacji dzieł artystycznych	9
2.7.	Informacja o wystąpieniach na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych lub artystycznych, z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych	10
2.8.	Informacja o udziale w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych, z podaniem pełnionej funkcji	12
2.9.	Informacja o uczestnictwie w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji, oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach prac zespołów.....	13
2.10.	Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach	13
2.11.	Informacja o odbytych stażach w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru.....	14
2.12.	Członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach (np. redaktora naczelnego, przewodniczącego rady naukowej, itp.).	14
2.13.	Informacja o recenzowanych pracach naukowych lub artystycznych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych	14
2.14.	Informacja o uczestnictwie w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych.....	14
2.15.	Informacja o udziale w zespołach badawczych, realizujących projekty inne niż określone w pkt. 2.9	15
2.16.	Informacja o uczestnictwie w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny.....	16
3.	Informacja o współpracy z otoczeniem społecznym i gospodarczym	16

3.1.	Wykaz dorobku technologicznego.....	16
3.2.	Informacja o współpracy z sektorem gospodarczym.....	17
3.3.	Uzyskane prawa własności przemysłowej, w tym uzyskane patenty, krajowe lub międzynarodowe	17
3.4.	Informacja o wdrożonych technologiach.....	17
3.5.	Informacja o wykonanych ekspertyzach lub innych opracowaniach wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców.....	17
3.6.	Informacja o udziale w zespołach eksperckich lub konkursowych.....	17
3.7.	Informacja o projektach artystycznych realizowanych ze środowiskami pozaartystycznymi.....	18
4.	Informacje naukometryczne (stan na dzień 3.11.2022 r.).....	18
4.1.	Informacja o punktacji Impact Factor.....	18
4.2.	Informacja o liczbie cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań	18
4.3.	Informacja o posiadanym indeksie Hirscha	18
4.4.	Informacja o liczbie punktów MEIN (wg Repozytorium PW).....	18

1. Informacja o osiągnięciach naukowych, o których mowa w art. 219 ust. 1. pkt 2 Ustawy

1.1. Monografia naukowa, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2a Ustawy

- [M1] Sarniak M.T. „Systemy Fotowoltaiczne”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2019. 158 s. ISBN: 978-83-7814-926-2.

(80 pkt wg MEiN)

Recenzenci wydawniczy: prof. dr hab. inż. Dorota Chwieduk
prof. dr hab. inż. Andrzej Chochowski

1.2. Cykl powiązanych tematycznie 11-tu artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy

- [A1] Sarniak M.T. „Simulation Model of PV Module Built from Point-Focusing Fresnel Radiation Concentrators and Three-Junction High-Performance Cells”. Applied Sciences-Basel (ISSN: 2076-3417. IF: 2.679). 2022; 12(2): 1-11. DOI: [10.3390/app12020806](https://doi.org/10.3390/app12020806).

(100 pkt wg MEiN)

- [A2] Sarniak M.T. „The Efficiency of Obtaining Electricity and Heat from the Photovoltaic Module under Different Irradiance Conditions”. Energies (ISSN: 1996-1073. IF: 3.004). 2021; 14(24): 1-14. DOI: [10.3390/en14248271](https://doi.org/10.3390/en14248271).

(140 pkt wg MEiN)

- [A3] Sarniak M.T. „Analiza efektywności energetycznej oraz rozkładu mocy wyjściowej falownika dla mikroinstalacji fotowoltaicznej w aspekcie procesu projektowania”. Rynek Energii (ISSN: 1425-5960. IF: 0,626). 2020; 2(147): 37-43.

(70 pkt wg MEiN)

- [A4] Sarniak M.T. „Modeling the Functioning of the Half-Cells Photovoltaic Module under Partial Shading in the Matlab Package”. Applied Sciences-Basel (ISSN: 2076-3417. IF: 2.679). 2020; 10(7): 1-12. DOI: [10.3390/app10072575](https://doi.org/10.3390/app10072575).

(100 pkt wg MEiN)

- [A5] Sarniak M.T. „Researches of the Impact of the Nominal Power Ratio and Environmental Conditions on the Efficiency of the Photovoltaic System: A Case Study for Poland in Central Europe”. Sustainability (ISSN: 2071-1050. IF: 3.251). 2020; 12(15): 1-15. DOI: [10.3390/su12156162](https://doi.org/10.3390/su12156162).

(100 pkt wg MEiN)

- [A6] Sarniak M.T., Wernik J., Wołosz K.J. „Application of the Double Diode Model of Photovoltaic Cells for Simulation Studies on the Impact of Partial Shading of Silicon Photovoltaic Modules on the Waveforms of Their Current–Voltage Characteristic”. Energies (ISSN: 1996-1073. IF: 3.004). 2019; 12(12): 1-10. DOI: [10.3390/en12122421](https://doi.org/10.3390/en12122421).

(140 pkt wg MEiN)

Wkład autorów: Koncepcja pracy, M.T.S.; metodologia, M.T.S.; badania eksperymentalne, M.T.S.; badania symulacyjne, M.T.S.; napisanie - przygotowanie pierwotnego projektu artykułu, M.T.S.; napisanie – ustosunkowanie się do recenzji i edycja końcowa, M.T.S., J.W., i K.J.W.; wizualizacja, M.T.S.; autor korespondencyjny, K.J.W.; pozyskanie funduszy, J.W. i K.J.W. (wkład autorów jest zamieszczony w treści publikacji)

- [A7] Sarniak M. „*Application of the Matlab package to study the effect of partial shading of the photovoltaic modules to the waveforms current-voltage characteristics*”. In: Stanek W., Gładysz P., Werle S., Adamczyk W., eds. Proceedings of 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2019). 2019: 2593-2604. ISBN: 978-83-61506-51-5.

(20 pkt wg MEiN)

- [A8] Sarniak M. „*Analysis of energy efficiency and output power distribution of the inverter for photovoltaic microinstallation in central Poland*”. In: Stanek W., Gładysz P., Werle S., Adamczyk W., eds. Proceedings of 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2019). 2019: 2605-2612. ISBN: 978-83-61506-51-5.

(20 pkt wg MEiN)

- [A9] Sarniak M. „*Mechanical aspects of designing of supporting structures for photovoltaic generators*”. ECONTECHMOD. An International Quarterly Journal on Economics of Technology and Modelling Processes (ISSN: 2084-5715). 2018; 7(1): 79-85.

(12 pkt wg MEiN)

- [A10] Sarniak M. „*Modeling of photovoltaic modules in Simulink and Simscape packages of Matlab software*”. ECONTECHMOD. An International Quarterly Journal on Economics of Technology and Modelling Processes (ISSN: 2084-5715). 2017; 6(1): 133-138.

(12 pkt wg MEiN)

- [A11] Sarniak M. „*Performance comparison of the off-grid photovoltaic mini-system designed to power selected residential building circuits using AGM and Li-Ion batteries for energy storage*”. Rynek Energii (ISSN: 1425-5960. IF: 0,626). 2022; 4(161): 46-56.

(70 pkt wg MEiN)

Wszystkie przedłożono do oceny dorobku osiągnięcia naukowe powstały po uzyskaniu stopnia naukowego doktora w większości jako publikacje autorskie wnioskodawcy (za wyjątkiem artykułu [A6]) w latach 2017-2022, a ich sumaryczna punktacja wg aktualnego wykazu MEiN wynosi 864.

2. Informacja o aktywności naukowej

2.1. Wykaz opublikowanych monografii naukowych niewymienionych w pkt 1.1

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora:

- 2.1.1. Sarniak M.T. „*Podręcznik instalatora systemów fotowoltaicznych*”. Wydawnictwo Grupa MEDIUM. Warszawa **2021**. 134 s. ISBN: 978-83-64094-72-9.
- 2.1.2. Sarniak M.T. „*Budowa i eksploatacja systemów fotowoltaicznych*”. Wydawnictwo Grupa MEDIUM. Warszawa **2015**. 171 s. ISBN: 978-83-64094-41-5.
- 2.1.3. Sarniak M.T. „*Podstawy fotowoltaiki*”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa **2008**. 102 s. ISBN: 978-83-7207-773-8.

2.2. Wykaz opublikowanych rozdziałów w monografiach naukowych

Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora:

- 2.2.1. Sarniak M., Mieszkalski L. (50%) „*Model matematyczny procesu obłuskiwania nasion rzepaku*”. W: Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych. Tom. II, red. Żuk D. IMiUR PW Płock **1997**, s. 185-193. ISBN: 83-908324-0-2.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora:

- 2.2.2. Sarniak M. „*Problemy mechatronizacji procesów rolniczych*”. W: Systemy mikroprocesorowe w rolnictwie, red. Jasiński B., Żuk D. P.P.-H. DRUKARNIA. Sierpc **1999**, s. 99-103. ISBN: 83-908324-4-5.
- 2.2.3. Sarniak M. „*Porównanie eksperymentalnej i teoretycznej metody określania prędkości krytycznej nasion rzepaku*”. W: Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych. Tom II, red. Żuk D. IMiUR PW Płock **2000**, s. 197-201.
- 2.2.4. Mikucki K., Sarniak M. (50%) „*Nowe koncepcje w rozwoju systemów mechatronicznych*”. W: Systemy mikroprocesorowe w rolnictwie, red. Jasiński B., Żuk D. P.P.-H. DRUKARNIA Sp. z o.o. Sierpc **2001**, s. 160-163. ISBN: 83-908324-8-8.
- 2.2.5. Sarniak M. „*Badania wstępne wpływu przestrzennego położenia paneli PV na efektywność generowania energii elektrycznej*”. W: Inżynieria Systemów Bioagrotechnicznych 5(14), red. Powierża L. Zakład Inżynierii Systemów Politechnika Warszawska. Płock **2005**. s. 165-169. ISBN: 83-915395-3-9.
- 2.2.6. Mikucki K., Sarniak M. (50%) „*Koncepcje mechatroniczne w budowie maszyn*”. W: Problemy Budowy i Eksploatacji Maszyn i Urządzeń Rolniczych, red. Bielanik J. Instytut Inżynierii Mechanicznej Politechniki Warszawskiej. Płock **2006**. s. 165-168. ISBN: 83-924500-0-0.
- 2.2.7. Sarniak M. „*Badanie wpływu przestrzennego ustawienia paneli fotowoltaicznych na przebiegi charakterystyk prądowo-napięciowych*”. W: Wybrane problemy inżynierii mechanicznej, red. Rode H. Instytut Inżynierii Mechanicznej Politechniki Warszawskiej. Płock **2006**. s. 176-183. ISBN: 83-924500-1-9.

- 2.2.8. Sarniak M. „Metoda badania efektywności ogniw i paneli fotowoltaicznych”. W: Problemy Budowy i Eksploatacji Maszyn i Urządzeń Rolniczych, red. Bielanik J. Instytut Inżynierii Mechanicznej Politechniki Warszawskiej. Płock 2006. s. 219-222. ISBN: 83-924500-0-0.
- 2.2.9. Sarniak M. „Mikrogeneratory fotowoltaiczne szansą dla rozwoju prosumenckiego rynku energii elektrycznej w Polsce”. W: Młodzi dla techniki: Wybrane problemy naukowo-badawcze mechaniki i inżynierii materiałowej, red. Wernik J. P.P.-H. "DRUKARNIA" Sp. z o.o. Sierpc 2013. s. 51-60. ISBN: 978-83-62081-19-6.
- 2.2.10. Sarniak M. „Zastosowania fotowoltaiki w budownictwie”. W: Wybrane zagadnienia budownictwa energooszczędnego, red. Grabarczyk Sł., 2014, Sierpc, P.P.-H. "DRUKARNIA" Sp. z o.o. Sierpc 2014. s. 21-28. ISBN: 978-83-62081-79-0.
- 2.2.11. Sarniak M. „Metody optymalnego doboru rodzaju instalacji fotowoltaicznej do typu przeznaczonych do zagospodarowania powierzchni”. W: Nauka gospodarce, gospodarka nauce, red. Piekut M. Oficyna Wydawnicza PW. Warszawa 2014. s. 329-337. ISBN: 978-83-7814-298-0.
- 2.2.12. Sarniak M. „Efekty kojarzenia systemu fotowoltaicznego z siecią”. W: Elementy inżynierii zrównoważonych systemów energetycznych, red. Rode H. Towarzystwo Naukowe Płockie. Płock 2016. s. 89-100. ISBN: 978-83-60348-76-5.
- 2.2.13. Sarniak M. „Badania termowizyjne krzemowych modułów fotowoltaicznych”. W: Problemy gospodarki energią i środowiskiem w rolnictwie, leśnictwie i przemyśle spożywczym, red. Gendek A. SGGW WIP, Warszawa 2016. s. 149-150. ISBN: 978-83-7583-696-7.
- 2.2.14. Sarniak M. „Modelowanie fizyczne funkcjonowania modułów fotowoltaicznych w pakiecie SIMSCAPE oprogramowania MATLAB”. W: Inżynieria Produkcji Rolniczej i Leśnej, red. Gendek A., Głowacki S. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Warszawa 2017. s. 55-56. ISBN: 978-83-947683-3-1.
- 2.2.15. Chmurzyński D., Sarniak M. (50%) „Projekt autonomicznego systemu PV do zasilania oświetlenia skweru studenckiego”. W: Problemy techniki, red. Grabowski P., Krawczyńska-Piechna A., Wernik J. Politechnika Warszawska, Płock 2017. s. 124-129. ISBN: 978-83-946540-1-6.
- 2.2.16. Górecka A., Sarniak M. (50%) „Modelowanie funkcjonowania modułów fotowoltaicznych w pakiecie Matlab-Simulink”. W: Problemy techniki, red. Grabowski P., Krawczyńska-Piechna A., Wernik J. Politechnika Warszawska, Płock 2017. s. 130-137. ISBN: 978-83-946540-1-6.
- 2.2.17. Sarniak M. „Szczegółowa analiza wydajności mikroinstalacji fotowoltaicznej na podstawie danych z monitoringu”. W: Energetyka w kierunku nowej polityki energetycznej, red. Kwiatkiewicz P. Uniwersytet Zielonogórski 2020. s. 167-180. ISBN: 978-83-955685-2-8.

2.3. Informacja o członkostwie w redakcjach naukowych monografii

brak

2.4. Wykaz opublikowanych artykułów w czasopismach naukowych niewymienionych w pkt 1.2

Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora:

- 2.4.1. Mieszkalski L., Sarniak M. (50%) „*Badanie energii uderzenia nasion rzepaku na użytek matematycznego modelowania procesu obłuskiwania*”. Problemy Inżynierii Rolniczej. **1997**; 4(18): 61-66.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora:

- 2.4.2. Mikucki K., Sarniak M. (50%) „*Mechatronika na farmie i w sadzie*”. Pomiar Automatyka Robotyka. **1998**; (4): 38-39.
- 2.4.3. Mieszkalski L., Sarniak M. (50%) „*Badania właściwości fizycznych nasion rzepaku w aspekcie ich obłuskiwania*”. Problemy Inżynierii Rolniczej. **1998**; 6(1): 79-88.
- 2.4.4. Mieszkalski L., Sarniak M. (50%) „*Analiza parametrów kinematycznych zespołu roboczego obłuskiwacza warunkującego skuteczne obłuskiwanie nasion rzepaku*”. Problemy Inżynierii Rolniczej. **1998**; 6(2): 41-48.
- 2.4.5. Mieszkalski L., Sarniak M. (50%) „*Badanie efektywności procesu obłuskiwania nasion rzepaku*”. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Mechanika. **1999**; 176: 41-49.
- 2.4.6. Mieszkalski L., Sarniak M. (50%) „*Analysis of the velocity of the collision between rape seeds and elements of a hulling machine*”. Annual Review of Agricultural Engineering. **2000**; 2(1): 81-90.
- 2.4.7. Sarniak M. „*The testing of energy efficiency of a prototype hybrid solar panel*”. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. **2011**; 11: 335-342.
- 2.4.8. Sarniak M. „*The method of selection of optimum fitting parameters for stationary photovoltaic systems and optimum control parameters for tracking photovoltaic systems*”. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. **2012**; 12(1): 243-246.
- 2.4.9. Sarniak M. „*The application of labview software for the control of a model of a tracking photovoltaic system*”. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. **2012**; 12(1): 237-241.
- 2.4.10. Sarniak M. „*Research into the energy balance of a standalone photovoltaic tracking system*”. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. **2013**; 13(1): 149-154.
- 2.4.11. Sarniak M. „*Badania wpływu ustawienia modułu fotowoltaicznego na przebiegi charakterystyk zewnętrznych*”. MOTROL Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. **2013**; 15(1): 115-118.
- 2.4.12. Sarniak M. „*Energy Balance of a Prosumer Microinverter On-Grid Photovoltaic System*”. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. **2014**; 14(3): 99-102.
- 2.4.13. Sarniak M. „*Uproszczona metoda doboru inwertera do systemu fotowoltaicznego dołączonego do sieci*”. MOTROL Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. **2014**; 16(1): 135-140.
- 2.4.14. Sarniak M. „*Zastosowanie fotowoltaiki w budownictwie mieszkaniowym*”. Elektro.Info. **2015**; (6): 48-52.

- 2.4.15. Sarniak M. „*Modelowanie funkcjonowania ogniw i modułów fotowoltaicznych w pakiecie Matlab-Simulink*”. MOTROL Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. **2015**; 17(1): 97-102.
- 2.4.16. Sarniak M. „*Influence of Solar Radiation and Ambient Temperature on the Unit Yield of a Photovoltaic System*”. Applied Mechanics and Materials. **2015**; 797: 202-209. DOI: [10.4028/www.scientific.net/AMM.797.202](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.797.202).
- 2.4.17. Sarniak M. „*Fotowoltaika w układach zasilania budynków*”. Elektro.Info. **2015**; (10): 64-68.
- 2.4.18. Sarniak M. „*Analiza funkcjonowania minisystemu fotowoltaicznego na podstawie danych z monitoringu instalacji*”. MOTROL Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. **2015**; 17(1): 103-107.
- 2.4.19. Dzierżanowski R., Sarniak M. (50%) „*Metoda doboru generatora fotowoltaicznego do zasilania ogrodzenia elektrycznego*”. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna. **2015**; (2): 24-27.
- 2.4.20. Sarniak M. „*Zasobniki energii w systemach fotowoltaicznych*”. Warunki Techniczne. **2016**; 1(12): 62-65.
- 2.4.21. Sarniak M. „*Study on the Effects of Changes of Ambient Temperature and Solar Irradiance on the Efficiency of the Silicon PV Modules*”. TEKA Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. **2016**; 16(1): 35-40.
- 2.4.22. Sarniak M. „*Badania wpływu zacielenia na przebiegi charakterystyk krzemowych modułów fotowoltaicznych*”. MOTROL Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. **2016**; 18(9): 79-82.
- 2.4.23. Sarniak M. „*Zastosowanie mikroinstalacji fotowoltaicznych współpracujących z siecią elektroenergetyczną w układach zasilania budynków*”. Elektro.Info. **2017**; (12): 89-93.
- 2.4.24. Sarniak M. „*Ochrona ppoż. systemów PV oraz neutralizacja zagrożeń pożarowych stwarzanych przez generatory PV podczas pożaru*”. Elektro.Info. **2017**; (6): 80-83.
- 2.4.25. Sarniak M. „*Dual-diode Model of Functioning of Photovoltaic Modules in MATLAB Package*”. Engineering Studies. **2018**; 10/3(2): 437-452.
- 2.4.26. Sarniak M. „*Analysis of energy efficiency of photovoltaic installation in central Poland*”. E3S Web of Conferences. **2018**; 46: 1-9. DOI: [10.1051/e3sconf/20184600002](https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184600002).

2.5. Wykaz osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora:

Projekt, wykonanie i udoskonalenia eksploatacyjne instalacji PV w prywatnym budynku jednorodzinym. Instalacja zbudowana na bazie dwóch falowników SMA o łącznej mocy szczytowej 4,26 kW_p ([link do Sunny Portal](#)).

2.6. Wykaz publicznych realizacji dzieł artystycznych

brak

2.7. Informacja o wystąpieniach na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych lub artystycznych, z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych

Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora:

- 2.7.1. **IV Sympozjum, pt. „Inżynieria Systemów Bioagrotechnicznych”**, Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa i Maszyn Rolniczych w Płocku, 1995, wygotoszony referat, pt. „Założenia do symulacyjnej metody badania wpływu ruchów belki na nierównomierność oprysku”.
- 2.7.2. **I Międzyuczelniane Seminarium, pt.: „Obłuskiwanie nasion”**, Instytut Maszyn i Urządzeń Rolniczych, Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie, 1996, wygotoszony referat, pt. „Koncepcja badań symulacyjnych procesu obłuskiwania nasion rzepaku”.
- 2.7.3. **VII Sympozjum im. prof. Czesława Kanafojskiego, nt. „Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych”**, Politechnika Warszawska, Instytut Maszyn i Urządzeń Rolniczych w Płocku, 18-19.09.1997 r., wygotoszony referat, pt. „Model matematyczny procesu obłuskiwania nasion rzepaku”.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora:

- 2.7.4. **IX Sympozjum, pt. „Inżynieria Systemów Bioagrotechnicznych”**, Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii w Płocku, 2005, wygotoszony referat, pt. „Badania wstępne wpływu przestrzennego położenia paneli PV na efektywność generowania energii elektrycznej”.
- 2.7.5. **Konferencja naukowa, pt. „Młodzi dla Techniki 2013”**, Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii w Płocku, 6.11.2013 r., wygotoszony referat, pt. „Mikrogeneratory fotowoltaiczne szansą dla rozwoju prosumenckiego rynku energii elektrycznej w Polsce”.
- 2.7.6. **III FORUM BUDOWLANE – PŁOCK 2014 - połączone z konferencją naukowo-techniczną, pt.: „Budownictwo energooszczędne i rewitalizacja obiektów budowlanych”**, Politechnika Warszawska Filia w Płocku, Instytut Budownictwa, 22-23.10.2014 r., wygotoszony referat, pt. „Zastosowania fotowoltaiki w budownictwie”.
- 2.7.7. **Seminarium Koła Naukowego Mechaników „ROTOR”**, zaproszony wykład, pt. „Fotowoltaika praktyczna”, Płock, 14.05.2014 r.
- 2.7.8. **Jubileuszowa 50 – Konferencja Inżynieria Elektryczna i Energetyczna: projektowanie – budowa – eksploatacja**, wygotoszony referat, pt. „Zastosowanie fotowoltaiki w budownictwie”, Sobienie Królewskie, 28-30.05.2015 r.
- 2.7.9. **II Konferencja Szkoleniowa, nt. „Zespoły prądowórcze oraz zasilacze UPS w układach zasilania budynków w energię elektryczną”**, pod patronatem miesięcznika Elektro.Info, zaproszony wykład, pt. „Fotowoltaika w układach zasilania budynków”, Warszawa, 21.10.2015 r.

- 2.7.10. VI Konferencja Szkoleniowa, nt. „Ochrona przeciwpożarowa w obiektach budowlanych. Instalacje elektryczne, wentylacyjne i gaśnicze - projektowanie, montaż, eksploatacja”, pod patronatem miesięcznika Elektro.Info, zaproszony wykład, pt. „Ochrona ppoż. systemów PV oraz neutralizacja zagrożeń pożarowych stwarzanych przez generatory PV podczas pożaru”, Katowice, 29.09.2016 r.
- 2.7.11. Konferencja Naukowa, nt. „Problemy gospodarki energią i środowiskiem w rolnictwie, leśnictwie i przemyśle spożywczym”, Organizatorzy: Wydział Inżynierii Produkcji SGGW w Warszawie oraz Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, wygłoszony referat, pt. „Badania termowizyjne krzemowych modułów fotowoltaicznych”, Warszawa, WIP SGGW, 13-14.09.2016 r.
- 2.7.12. Konferencja naukowa, pt. „Młodzi dla Techniki 2017”, Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii w Płocku, 7-8.09.2017 r., wygłoszone 2 referaty, pt. „Projekt autonomicznego systemu PV do zasilania oświetlenia skweru studenckiego” oraz „Modelowanie funkcjonowania modułów fotowoltaicznych w pakiecie Matlab-Simulink”. [poświadczenie P9]
- 2.7.13. IV Konferencja Szkoleniowa, nt. „Zespoły prądotwórcze i zasilacze UPS w układach zasilania budynków w energię elektryczną”, pod patronatem miesięcznika Elektro.Info, zaproszony wykład, pt. „Zastosowanie mikroinstalacji fotowoltaicznych, współpracujących z siecią elektroenergetyczną, w układach zasilania budynków”, Warszawa, SGSP, 30.11.2017 r.
- 2.7.14. III Międzynarodowa Konferencja ENERGETYKA i OCHRONA ŚRODOWISKA, zorganizowana przez Akademię Górniczo-Hutniczą im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedrę Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska, wygłoszony referat, pt. „Analiza uzysków energetycznych instalacji fotowoltaicznej w centralnej Polsce”, Kraków, AGH, 13-14.09.2018 r.
- 2.7.15. 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2019), Poster presentation: „Application of the Matlab package to study the effect of partial shading of the photovoltaic modules to the waveforms current-voltage characteristics”, (No. of the certificate: ECOS2019-1309-A), Wrocław, Poland, 23-28.06.2019 r. [poświadczenie P10]
- 2.7.16. 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2019), Poster presentation: „Analysis of energy efficiency and output power distribution of the inverter for photovoltaic micro-installation in central Poland”, (No. of the certificate: ECOS2019-1310-A), Wrocław, Poland, 23-28.06.2019 r. [poświadczenie P10]
- 2.7.17. VI Ogólnopolska Konferencja Naukowa: Europejski Wymiar Bezpieczeństwa Energetycznego a Ochrona Środowiska – „Fotowoltaika, elektromobilność, magazynowanie energii – w kierunku nowej polityki energetycznej”, Wydział Nauk Politycznych i Dziennikarstwa UAM w Poznaniu, wygłoszony referat, pt. „Szczegółowa analiza wydajności

mikroinstalacji fotowoltaicznej na podstawie danych z monitoringu”, 29-31.05.2019 r.

- 2.7.18. Zarząd Stowarzyszenia Nowoczesna i Innowacyjna Edukacja oraz Dyrektor Uniwersytetu Trzeciego Wieku „Trzecia Młodość”, zaproszony wykład z dyskusją dr. inż. Mariusza Sarniaka, nt. „Fotowoltaika jako praktyczne wykorzystanie energii słonecznej”, Płock, Filia PW, 17.01.2018 r.
- 2.7.19. XI Płockie Dni Techniki w ramach III Mazowieckich Dni Techniki 2020, zorganizowane przez OW SIMP, pod honorowym patronatem: Wojewody Mazowieckiego, Marszałka Województwa Mazowieckiego, Prezesa FSN-T NOT oraz Prezydenta Miasta Płocka, zaproszony wykład, pt. „Instalacje prosumenckie istotnym czynnikiem rozwoju fotowoltaiki w Polsce”, Płock, Dom Darmstadt, 15.10.2020 r.
- 2.7.20. Sesja naukowo-informacyjna, nt. „Zagadnienia wykorzystania zjawisk fotowoltaicznych w gospodarce energetycznej, ekonomice przedsiębiorstw i instytucji, ochronie środowiska oraz innowacji w obszarze rynku pracy”, zorganizowana przez: Stowarzyszenie Nowoczesna i Innowacyjna Edukacja oraz MOIIB, zaproszony wykład, pt. „Zastosowanie technologii fotowoltaicznych dla regionalnej gospodarki i prosumentów lokalnych”, Płock, Filia PW, 27.02.2020 r.
- 2.7.21. V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Współczesne Technologie i Urządzenia Energetyczne (WTiUE 2021), Katedra Energetyki Politechniki Krakowskiej, wyłoszony referat (zdalnie), pt. „Badania modelowe modułu fotowoltaicznego zbudowanego z punktowo skupiających koncentratorów promieniowania fresnela i trójzłączowych wysokowydajnych ogniw”, Kraków, PK, 19-21.05.2021 r. [poświadczenie P12]
- 2.7.22. Konferencja szkoleniowa-jubileuszowa „Zasilanie budynków w energię elektryczną z wykorzystaniem fotowoltaiki”, z okazji 20-lecia miesięcznika Elektro.Info, zaproszony wykład plenarny, pt. „Dobór paneli PV do współpracy z falownikiem. Neutralizacja zagrożeń pożarowych układów PV”, Warszawa, Akademia Ekonomiczno-Humanistyczna, 15.10.2021 r.

2.8. Informacja o udziale w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych, z podaniem pełnionej funkcji

Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora:

- 2.8.1. I Międzyuczelniane Seminarium, pt.: „*Obłuskiwanie nasion*”, Instytut Maszyn i Urządzeń Rolniczych, Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie, 1996 r. – współorganizator ze strony IMiUR PW Płock.
- 2.8.2. VII Sympozjum im. Prof. Czesława Kanafojskiego, nt. „*Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych*”, IMiUR (XXX-lecie IMiUR w Płocku) 18-19.09.1997 r. - członek komitetu organizacyjnego.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora:

- 2.8.3. VIII Sympozjum im. Prof. Czesława Kanafojskiego, nt. „*Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych*”, IMiUR (175-lat Politechniki Warszawskiej) 21-22.09.2000 r. - członek komitetu organizacyjnego i rady recenzentów materiałów konferencyjnych.

- 2.8.4. IX Międzynarodowe Sympozjum im. Prof. Czesława Kanafojskiego, nt. „Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych”, IIM PW (XXXV-lecie IIM) 18-19.09.2003 r. - członek komitetu organizacyjnego.
- 2.8.5. X Międzynarodowe Sympozjum im. Prof. Czesława Kanafojskiego, nt. „Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych”, IIM PW 18-19.09.2006 r. - członek komitetu organizacyjnego i rady recenzentów materiałów konferencyjnych.

2.9. Informacja o uczestnictwie w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji, oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach prac zespołów

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora:

- 2.9.1. Udział w projekcie pt. „*Utworzenie Centralnego Laboratorium Mechaniki i Budownictwa w Płocku*” współfinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (EFRR) w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Mazowieckiego (RPO WM) na lata 2014-2020 - Działanie 1.1 Działalność badawczo-rozwojowa jednostek naukowych - o łącznej wartości projektu: 4 610 101,02 zł. Udział wnioskodawcy w projekcie polegał na nadzorowaniu realizacji zadania, polegającego na *zbudowaniu referencyjnej instalacji fotowoltaicznej z równoległą rejestracją parametrów pogodowych* o wartości: 47 011,96 zł na dachu budynku Gmachu Mechaniki Politechniki Warszawskiej Filii w Płocku przy Al. Jachowicza 2/4. [*projekt zrealizowany*]

Informacja o projekcie dostępna on-line: <https://mapadotacji.gov.pl/projekty/775906/>

Monitoring parametrów zbudowanej instalacji fotowoltaicznej dostępny on-line:

<https://www.solarweb.com/Home/GuestLogOn?pvSystemId=ffb3ea1b-77e9-44f8-960f-36a6d3d790f8>

- 2.9.2. Kierowanie projektem, który pozyskano w roku 2022 w wyniku konkursu, ogłoszonego w ramach realizacji w Politechnice Warszawskiej programu „Inicjatywa doskonałości – uczelnia badawcza”, zwanego „programem IDUB”, ENERGYEDULAB uzyskałem finansowanie w wysokości 67 725,00 zł projektu pt. „*Budowa pracowni podstaw konwersji energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną*”, którego zakończenie zaplanowano na czerwiec 2023 r. [*projekt w toku realizacji*]

2.10. Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora:

- 2.10.1. Członek zwyczajny [Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Mechaników Polskich \(SIMP\)](#) - Oddział w Płocku. Pełnione funkcje w SIMP: wykładowca SIMP [poświadczenie P15], rzeczoznawca SIMP [poświadczenie P1], członek komisji kwalifikacyjnej (Grupa G1) [poświadczenie P7].
- 2.10.2. Członek zwyczajny [Towarzystwa Naukowego Płockiego \(TNP\)](#). [poświadczenie P14] Pełnione funkcje w TNP: członek [Sekcji Nauk Technicznych TNP](#).

2.10.3. Członek zwyczajny Stowarzyszenia Zbiorowego Zarządzania Prawami Autorskimi Twórców Dzieł Naukowych i Technicznych KOPIPOL.

2.10.4. Członek Komisji Egzaminacyjnej powołanej przez Prezesa Urzędu Dozoru Technicznego (UDT) w Warszawie przeprowadzającej egzaminy dla instalatorów ubiegających się o wydanie certyfikatu potwierdzającego posiadanie kwalifikacji do instalowania danego rodzaju instalacji odnawialnego źródła energii (OZE) w zakresie: systemów fotowoltaicznych (PV)

2.11. Informacja o odbytych stażach w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru

brak

2.12. Członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach (np. redaktora naczelnego, przewodniczącego rady naukowej, itp.)

brak

2.13. Informacja o recenzowanych pracach naukowych lub artystycznych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora:

Opracowanie recenzji 1 artykułu naukowego dla kwartalnika **Pomiary Automatyka Robotyka** (ISSN: 1427-9126) w roku 2022.

Opracowanie 21 recenzji artykułów naukowych w 7 czasopismach międzynarodowych [poświadczenie **P2**]:

Energies (ISSN: 1996-1073) – 13 recenzji artykułów naukowych w latach: 2019-2022.

Solar (ISSN: 2673-9941) – 1 recenzja artykułu naukowego w roku 2022.

Sustainability (ISSN: 2071-1050) – 1 recenzja artykułu naukowego w roku 2021.

Applied Sciences (ISSN: 2076-3417) – 2 recenzje artykułów naukowych w roku 2020.

Processes (ISSN: 2227-9717) – 1 recenzja artykułu naukowego w roku 2021.

Designs (ISSN: 2411-9660) - 1 recenzja artykułu naukowego w roku 2021.

ChemEngineering (ISSN: 2305-7084) - 1 recenzja artykułu naukowego w roku 2020.

Sensors (ISSN: 1424-8220) - 1 recenzja artykułu naukowego w roku 2022.

2.14. Informacja o uczestnictwie w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora:

Certyfikat ukończenia szkolenia z dziedziny fotowoltaiki, przeprowadzonego w ramach Programu Komisji Europejskiej ALTENER: Projekt SOLTRAIN – PHOTOVOLTAIC TRAINING COURSES IN CANDIDATE COUNTRIES – KONTRAKT NR. 4.1030/Z/02-067/2002 (Warszawa: 7-8.12.2004 r.). [poświadczenie P6]

2.15. Informacja o udziale w zespołach badawczych, realizujących projekty inne niż określone w pkt. 2.9

Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora:

- 2.15.1. Grant Dziekański (PW WBiMR) - rok 1995 – nr projektu: 503/800/223/1 „Symulacyjna metoda badania wpływu kąta wychylenia belki opryskowej od poziomu na nierównomierność oprysku”. Kierownik pracy.
- 2.15.2. Grant Dziekański (PW WBiMR) - rok 1996 – nr projektu: 503/800/206/1 „Badania symulacyjne procesu obłuskiwania nasion rzepaku metodą udarową”. Główny wykonawca.
- 2.15.3. Grant Dziekański (PW WBMiP) - rok 1997 – nr projektu: 503/800/212/1 „Badania uzupełniające wybranych właściwości fizycznych oraz weryfikacja udarowej metody obłuskiwania nasion rzepaku na stanowisku laboratoryjnym”. Kierownik pracy.
- 2.15.4. Grant Promotorski KBN - rok 1997 – nr projektu: 5 P06G 044 13 „Metoda szacowania skuteczności obłuskiwania nasion rzepaku”. Główny wykonawca.

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora:

- 2.15.5. Grant Dziekański (PW WBMiP) - rok 1998 – nr projektu: 503/800/227/8 „Badania właściwości aerodynamicznych nasion rzepaku i ich składników budowy anatomicznej w aspekcie separacji okrywy owocowo-nasiennej”. Kierownik pracy.
- 2.15.6. Grant Dziekański (PW WBMiP) - rok 2002 – nr projektu: 503G/7703/2325/002 „Opracowanie projektu wykorzystania wirtualnej edukacji w wybranych formach kształcenia ustawicznego”. Kierownik pracy.
- 2.15.7. Grant Dziekański (PW WBMiP) - rok 2005 – nr projektu: 503G/7703/2338/004 „Badanie efektywności eksperymentalnego autonomicznego systemu fotowoltaicznego”. Kierownik pracy.
- 2.15.8. Praca statutowa (PW WBMiP) – rok 2012 – nr projektu: 504P/7193/2612/001, nt. „Doskonalenie procesów eksploatacji systemów mechanicznych” w zakresie trzech zadań: 1) Badanie wpływu parametrów konstrukcyjnych i funkcjonalnych pompy ciepła na wydajność cieplną; 2) Dobór parametrów eksploatacyjnych prototypowego nadążnego systemu fotowoltaicznego; 3) Dobór parametrów rotacyjnego zespołu tnącego do cięcia roślin energetycznych. Główny wykonawca zadania nr 2.
- 2.15.9. Praca statutowa (PW WBMiP) – rok 2014 – nr projektu: 504P/7193/2622/001, nt. „Doskonalenie procesów eksploatacji systemów mechanicznych” w zakresie trzech zadań: 1) Analiza energetyczna pompy ciepła sterowanej elektronicznym zaworem rozprężnym; 2) Dobór parametrów dwutarczowego zespołu tnącego do cięcia roślin energetycznych; 3) Budowa stanowiska do

testowania oryginalnej metody pozycjonowania płaszczyzny generatora fotowoltaicznego. Kierownik pracy i główny wykonawca zadania nr 3.

- 2.15.10. Praca statutowa (PW WBMiP) – rok **2015** – nr projektu: **504/01754/7193/40.000101**, nt. „*Doskonalenie procesów eksploatacji systemów mechanicznych*” w zakresie trzech zadań: 1) Analiza energetyczna powietrznej pompy ciepła do podgrzewania wody użytkowej; 2) Badania tarczowego zespołu tnącego do cięcia roślin energetycznych; 3) Analiza porównawcza obrazów termograficznych i charakterystyk prądowo-napięciowych modułów fotowoltaicznych w aspekcie wykrywania mikrouszkodzeń. Kierownik pracy i główny wykonawca zadania nr 3.
- 2.15.11. Praca statutowa (PW WBMiP) – rok **2017** – nr projektu: **504P/7193/2633/001**, nt. „*Doskonalenie procesów eksploatacji systemów mechaniczno-energetycznych*” w zakresie trzech zadań: 1) Analiza energetyczna pompy ciepła typu glikol-woda o regulowanej wydajności sprężarki; 2) Badania procesu cięcia roślin; 3) Weryfikacja modelowania matematycznego funkcjonowania systemów fotowoltaicznych. Kierownik pracy i główny wykonawca zadania nr 3.
- 2.15.12. Praca statutowa (PW WBMiP) – rok **2019** – nr projektu: **50404234/7193/44.000000**, nt. „*Badania symulacyjne funkcjonowania modułów fotowoltaicznych w różnych warunkach nasłonecznienia i temperatury otoczenia*”. Kierownik pracy.

2.16. Informacja o uczestnictwie w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora:

- 2.16.1. Udział w pracach **Komisji Dziekańskiej** Wydziału Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej Filii w Płocku, oceniającej składane przez pracowników badawczo-dydaktycznych Wydziału wnioski o przyznanie grantów dziekańskich.
- 2.16.2. Udział w pracach Komisji, oceniającej wnioski o **Nagrody Prezydenta Miasta Płocka „Dyplom dla Płocka”** za najlepsze prace dyplomowe licencjackie, inżynierskie i magisterskie.
- 2.16.3. Udział w pracach Komisji, oceniającej wnioski o **Nagrody CNH Industrial Polska Sp. z o.o.** za najlepszą pracę dyplomową związaną z działalnością spółki.

3. Informacja o współpracy z otoczeniem społecznym i gospodarczym

3.1. Wykaz dorobku technologicznego

Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora:

Praca zlecona nr 501/800/256/2, nt. „*Opracowanie części procesu technologicznego w zakresie rozwinięć elementów płaskich i przestrzennych z blach wykonanych na wykrawarce CNC*”, zakres pracy obejmował wykonanie rozwinięć i linii gięcia dla 60 detali – zleceniodawca:

„BIZON” Sp. z o.o. w Płocku, wykonana na podstawie zamówienia nr TT/1/97/4301 z dn. 16.05.1997 r. – zakończona na podstawie protokołu odbioru w dn. 12.02.1998 r.

3.2. Informacja o współpracy z sektorem gospodarczym

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora:

Kierując Instytutem Inżynierii Mechanicznej koordynuję szeroką współpracę z sektorem otoczenia społeczno-gospodarczego. Aktualnie posiadamy sformalizowaną współpracę na gruncie naukowo-dydaktycznym z następującymi instytucjami (wymieniono najważniejsze z nich, z którymi bezpośrednio współpracuje wnioskodawca):

- 3.2.1. CNH Industrial Polska Sp. z o.o. – producent maszyn rolniczych (głównie kombajnów zbożowych i pras zwijających).
- 3.2.2. PKN ORLEN S. A. – koncern multienergetyczny.
- 3.2.3. PRECIZO Sp. z o.o. – centrum obróbki precyzyjnej.
- 3.2.4. BUDMAT Bogdan Więcek – producent pokryć dachowych i konstrukcji wsporczych do paneli fotowoltaicznych.
- 3.2.5. ANWIL S. A. (Grupa ORLEN).
- 3.2.6. ENERGY 5 - projektowanie oraz produkcja konstrukcji fotowoltaicznych.

3.3. Uzyskane prawa własności przemysłowej, w tym uzyskane patenty, krajowe lub międzynarodowe

brak

3.4. Informacja o wdrożonych technologiach

brak

3.5. Informacja o wykonanych ekspertyzach lub innych opracowaniach wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora:

Wykonanie ekspertyzy rzeczoznawcy SIMP na zlecenie klienta SIMP ZORPOT w Płocku na temat wykonania konstrukcji wsporczej mikroinstalacji fotowoltaicznej na dachu pokrytym blachodachówką w miejscowości Nowe Gulczewo, ul. Zagłoby 15 - zlecenie nr 7/2022.

3.6. Informacja o udziale w zespołach eksperckich lub konkursowych

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora:

- 3.6.1. Ekspert dla mediów z zakresu fotowoltaiki - Baza ekspertów PW.
- 3.6.2. Egzaminator Europejskiego Certyfikatu Umiejętności Komputerowych (ECDL), akredytowany przez Polskie Towarzystwo Informatyczne (PTI). [poświadczenie P4]

3.6.3. Egzaminator instalatorów z zakresu: Systemy fotowoltaiczne (PV), powołany przez Prezesa Urzędu Dozoru Technicznego (UDT) w Warszawie.

3.6.4. Ekspert w Stowarzyszeniu Nowoczesne Budynki (SNB), w zakresie grupy roboczej: GR2 - Wyposażenie Techniczne Budynków.

3.7. Informacja o projektach artystycznych realizowanych ze środowiskami pozaartystycznymi

brak

4. Informacje naukometryczne (stan na dzień 3.11.2022 r.)

4.1. Informacja o punktacji Impact Factor

Sumaryczny Impact Factor (wg [Repozytorium PW](#)): **13,392**

4.2. Informacja o liczbie cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań

	wg Google Scholar	wg Scopus	wg Web of Science
Całkowita liczba cytowań:	212	30	21
Liczba cytowań bez autocytowań:	-	22	18
Liczba publikacji w bazie:	51	8	4

4.3. Informacja o posiadanym indeksie Hirscha

	wg Google Scholar	wg Scopus	wg Web of Science
Indeks Hirscha:	7	4	3

4.4. Informacja o liczbie punktów MEiN (wg [Repozytorium PW](#))

Całkowita liczba publikacji: **61**

Sumaryczna punktacja MNiSW: **1 179**



.....
(podpis wnioskodawcy)