

Dr hab. inż. Sławomir Cieślik, prof. nadzw. UTP
Wydział Telekomunikacji Informatyki i Elektrotechniki
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
ul. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

Bydgoszcz, 5 maja 2019 r.



Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Dariusza Kurza pt.: „Analiza wybranych parametrów elektrycznych dachówek fotowoltaicznych”,

**wykonanej pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Ryszarda Nawrowskiego,
promotorem pomocniczym jest dr inż. Grzegorz Trzmieł**

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Dariusza Kurza pt.: „Analiza wybranych parametrów elektrycznych dachówek fotowoltaicznych”, została opracowana na podstawie pisma Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Nadolnego, z dnia 21 marca 2019 r. (sygn. DE-012/131/2019).

1. Ocena wyboru tematu

Energetyka, jako dyscyplina naukowa, zajmuje się problemami wytwarzania, gromadzenia, przetwarzania i przesyłania energii. Uwarunkowania techniczne, ale głównie formalno-prawne są w Polsce podstawowym impulsem w rozwoju instalacji pozyskiwania energii elektrycznej ze źródeł energii odnawialnej. Z przyczyn politycznych, w ostatnim czasie praktycznie uniemożliwiono rozwój energetyki wiatrowej na lądzie. Zaistnienie energetyki wiatrowej na Morzu Bałtyckim jest w fazie prac przedprojektowych lub projektowych. Dynamicznie rozwijają się zatem układy fotowoltaiczne. Budowane są farmy fotowoltaiczne z naziemnymi instalacjami PV oraz coraz więcej przyrasta mikroinstalacji prosumenckich. Mikroinstalacje prosumenckie składają się z modułów PV instalowanych na dachach domków jednorodzinnych lub innych budynków. Znany problemem w procesie pozyskiwania energii elektrycznej z ogniw fotowoltaicznych jest zauważalny wpływ wzrostu temperatury ogniw na obniżenie jego sprawności energetycznej. Należy przy tym zauważyć, że w tego typu instalacjach (gdzie sprawność energetyczna pozyskiwania energii elektrycznej wynosi mniej niż 20%) odbywa się swoista „walka” o podniesienie sprawności nawet o ułamek procenta. Zmiana wyobrażenia o funkcjonowaniu energetycznym budynków mieszkalnych, ale również i użyteczności publicznej, prowadzi do wzrostu zainteresowania integracją instalacji pozyskiwania energii elektrycznej z elementami budynków. Z praktycznego punktu widzenia, układy zintegrowane, np. dachówki PV zintegrowane z konstrukcją poszycia dachowego, tworzą złożone struktury, w stosunku do których niezbędne jest stosowanie właściwych modeli matematycznych w celu uzyskania adekwatnych wyników symulacji. Jednym z takich problemów, dotyczącym wpływu parametrów zintegrowanego układu fotowoltaicznego (dachówki PV) z konstrukcją dachu na parametry energetyczne tego złożonego układu zajął się Autor recenzowanej rozprawy doktorskiej. W tym sensie temat pracy jest aktualny i interesujący z naukowego punktu widzenia w dyscyplinie naukowej energetyka.

2. Merytoryczna ocena pracy

We wprowadzeniu Autor wskazuje na akty formalno-prawne, które przyczyniły się do rozwoju wykorzystania energii ze źródeł energii odnawialnej. W Polsce wprowadzono ustawowo pojęcie mikroinstalacji, co przyczyniło się do rozwoju mikroinstalacji prosumenckich. Autor błędnie podał (str. 8, 5d), że „z wytworzonej 1 kWh energii inwestor

może wykorzystać 80% (przy instalacjach do mocy 10 kW) lub 70% (w przypadku instalacji od 10 do 40 kW)". Po pierwsze, podane wartości procentowe energii dotyczą nie energii wytworzonej w mikroinstalacji, a energii wprowadzonej do sieci (jest to zasadnicza różnica w kontekście idei prosumenctwa). Po drugie, nowelizacja ustawy [158] zwiększa dopuszczalną moc mikroinstalacji do 50 kW, co Autor wcześniej (str. 8, 7d) napisał.

Po dość ogólnym wprowadzeniu, w rozdziale 2, sformułowany został cel pracy, jej zakres oraz teza. Celem pracy było wykonanie badań wybranych parametrów elektrycznych i termicznych dachówek fotowoltaicznych oraz opracowanie modelu elektryczno-termicznego ogniw PV uwzględniającego strukturę dachu. Cel w zasadzie sformułowany jest poprawnie, jednak warto było go bardziej uszczegółowić, podając choćby potencjalne przeznaczenie opracowywanego modelu, z czego wynikałyby ograniczenia jego stosowalności. W zakresie pracy pojawia się sformułowanie „generowana moc” (str. 10, 11g). W tym miejscu należy zwrócić uwagę na rozumienie pojęcia mocy elektrycznej. Jeżeli moc jest rozumiana jako miara szybkości zmian energii elektrycznej, to sformułowania takie, jak np. „generowanie mocy” i „rozptyw mocy” nie są zrozumiałe. Z uwagi na to, że w środowisku naukowym od lat używane są tego typu sformułowania, w dalszej części recenzji nie będzie już ten wątek podnoszony. Niemniej jednak, warto w pracach naukowych w XXI wieku, próbować porządkować pewne zaszłości. Teza pracy, „parametry elektryczne dachówek fotowoltaicznych (tj. napięcie, moc oraz sprawność konwersji fotowoltaicznej) są zależne od oporu cieplnego konstrukcji dachowej, wpływającego na temperaturę ogniw PV”, w świetle choćby danych katalogowych różnego rodzaju źródeł energii opartych na fotowoltaice, jest trywialna. Powszechnie wiadomo, że na sprawność konwersji energii promieniowania słonecznego w energię elektryczną, realizowaną w ogniwach PV, wpływa temperatura tego ogniwa. Jednak na temperaturę ogniwa wpływa wiele czynników, nie tylko opór cieplny dachu. Natomiast zagadnienie udziału oporu cieplnego dachu we wpływie na temperaturę ogniw PV, a zatem na sprawność konwersji, jest z praktycznego punktu widzenia interesujące.

W rozdziale 3, Autor przedstawił podstawowe informacje, stan aktualny i określił perspektywy rozwoju ogólnie ujętej fotowoltaiki. Treść tego rozdziału jest przytoczeniem podstawowej wiedzy literaturowej z zakresu: światła słonecznego i jego właściwości (występują pewne nieścisłości dotyczące promieniowania słonecznego oraz gęstości mocy i energii promieniowania), efektu fotowoltaicznego, technologii produkcji i rodzajów ogniw PV (brakuje tutaj odniesienia się do wpływu np. temperatury ogniwa na jego sprawność energetyczną w zależności od typu i rodzaju ogniwa) oraz fotowoltaiki zintegrowanej z elementami budowlanymi (w tym zasadne zwrócenie uwagi na specyfikę np. dachówek fotowoltaicznych, których zintegrowana konstrukcja z innymi elementami budowlanymi powoduje zwiększenie temperatury ogniw). Autor przytacza możliwość odsprzedaży energii elektrycznej, czyli cel zarobkowy, w kontekście zastosowania m.in. dachówek fotowoltaicznych (str. 26, 6d; str. 29, 12g). Trzeba mieć jednak na uwadze fakt, że w przypadku mikroinstalacji prosumenckich nie ma mowy o odsprzedaży nadwyżek energii elektrycznej. Natomiast w przypadku innych instalacji wiąże się to z zachowaniem wszystkich przewidzianych prawem zasad m.in.: koncesyjnych, księgowych, podatkowych.

Rozdział 4 zawiera opis aktualnego stanu wiedzy w przedmiotowym temacie. Autor omawia zawartość różnych publikacji dotyczących głównie wpływu temperatury na pracę ogniw fotowoltaicznych oraz zagadnień związanych z modelowaniem matematycznym tych ogniw. W tej części pracy brakuje krytycznego ustosunkowania się Autora rozprawy do merytorycznej zawartości przytaczanych publikacji, w szczególności aspektu modelowania matematycznego, co wprost wynika z założonego celu rozprawy. Nie ma przekonującego uzasadnienia podjęcia działań w kierunku opracowania nowego modelu elektryczno-termicznego ogniw PV uwzględniającego strukturę dachu. Z przedstawionego przeglądu literatury wynika jasno problem wpływu temperatury ogniw PV na ich sprawność,

szczególnie w warunkach ich integracji z elementami dachu. Problem praktyczny jest dostatecznie uzasadniony w literaturze.

Rozdział 5 dotyczy aspektów modelowania i symulacji pracy ogniw PV. Tytuł tego rozdziału powinien być zmieniony, ponieważ modelowaniu i symulacji nie podlegają parametry, tylko stany pracy ogniw PV. Początkowy tekst na str. 36 jest merytorycznie powtórzeniem omawianych kwestii w rozdziale 3 rozprawy. Na rys. 5.1 (str. 36) Autor przedstawił fotografię stanowiska do badania charakterystyki ciemnej monokrystalicznej dachówki fotowoltaicznej Fotton FTDS52. Jednak z technicznego punktu widzenia powinien być również przedstawiony schemat stanowiska z wykazem użytych przyrządów pomiarowych. Odwołując się do dwudiodowego schematu zastępczego ogniwa PV (str. 37, 3g) właściwe byłoby pokazanie tego schematu na rysunku. Autor niezręcznie napisał, że przyjęcie zerowych wartości rezystancji szeregowej i równoległej w schemacie zastępczym (modelu) idealnego ogniwa minimalizuje wewnętrzne straty mocy spowodowane defektami struktury materiału. Przyjęcie zerowych wartości tych rezystancji wynika z pominięcia tych strat. Dopiero w podrozdziale 5.3 Autor opisuje jedno i dwudiodowe schematy zastępcze ogniwa PV. Przywoływanie czterech pozycji literatury do oczywistego równania z I Prawa Kirchhoffa jest zbędne (str. 47, 7g). Tytuł podrozdziału 5.4 „Stanowisko pomiarowe dachówki fotowoltaicznej” należałoby skorygować. Jako przedmiot badań, Autor wybrał tylko jeden typ (właściwie tylko jeden egzemplarz) dachówki fotowoltaicznej (Fotton FTDS52). Nie jest jasne, dlaczego Autor ograniczył się do tylko jednego typu dachówki? Komentarza wymaga zastosowany schemat zastępczy dachówki fotowoltaicznej, składającej się z osiemnastu ogniw PV (str. 55, rys. 5.13). Wątek ten rozwinęto w części pytań i uwag dyskusyjnych recenzji. Ważnym osiągnięciem Autora w tej części pracy jest wykonanie eksperymentów w celu określenia zmian parametrów elektrycznych badanej dachówki fotowoltaicznej w zależności od zmian temperatury ogniw PV. Otrzymane wyniki z eksperymentu, porównane były z wynikami symulacji oraz danymi katalogowymi badanej dachówki. Uzyskano kilkuprocentowe różnice w wynikach, co świadczy o dobrym stopniu adekwatności zastosowanego modelu matematycznego układu fotowoltaicznego. Jednak trudno w pracy się zorientować jaki właściwie model był zastosowany. W kolejnych podrozdziałach, Autor przedstawił zagadnienia dotyczące przenikania ciepła przez elementy konstrukcyjne dachu, w tym opór cieplny dachówki fotowoltaicznej, co prowadzi do jej modelu RC. Autor rozprawy wprowadził modyfikację w klasycznym modelu RC elementu budowlanego, który pozwala na wyznaczenie temperaturowej stałej czasowej badanej dachówki fotowoltaicznej w zmiennych warunkach pracy spowodowanych głównie warunkami atmosferycznymi. Mechanizmy termiczne dachówki PV zostały przedstawione przez skorelowanie ich ekwiwalentów elektrycznych (RC) z oporem i pojemnością cieplną, które wynikają z procesu przewodzenia ciepła w warstwach dachówki. Istotnym elementem w dążeniu do założonego celu jest przedstawienie modelu foto-elektro-termicznego badanej dachówki PV. Autor, w tekście pracy pisze o opracowanym przez niego modelu (rys. 5.20, str. 72), przy czym w podpisie pod rysunkiem przywołuje pozycję [169] w spisie literatury. Tę kwestię należy wyjaśnić. Podane są wyniki obliczeń zmian temperatury dachówki PV wolnostojącej, wraz z uzasadnieniem fizycznym różnic w otrzymanych wartościach cieplnej stałej czasowej nagrzewania się i stygnięcia dachówki, na podstawie wyników z stosowanego modelu PET oraz wyników eksperymentu. W dalszej części rozprawy, Autor zajmuje się wpływem konstrukcji dachowej na temperaturę ogniw dachówki PV. W tym celu buduje trzy stanowiska eksperymentalne z różnymi podłożami dachowymi. Uzyskane wyniki oraz doświadczenie, pozwalają Autorowi na zaproponowanie metodologii badań dachówek fotowoltaicznych zintegrowanych z konstrukcją dachową.

Rozdział 6 rozpoczyna się od sformułowania założeń badawczych. Wyniki dla „typowego roku meteorologicznego” dla określonej lokalizacji posłużyły Autorowi do wyznaczenia dni rekomendowanych, w których powinno się przeprowadzać eksperymenty. W dalszej części rozdziału następuje opis stanowiska badawczego, które następnie wykorzystano do

wieloletnich badań, w wyniku których Autor może weryfikować proponowane przez siebie rozwiązania. W tym zakresie Autor wykazał się wiedzą i dużymi umiejętnościami w projektowaniu i konstruowaniu stanowisk eksperymentalnych, co jest znaczącym osiągnięciem praktycznym Autora. W dalszej części rozdziału opisywane są zagadnienia dotyczące: aparatury pomiarowej zastosowanej w stanowiskach eksperymentalnych, teorii błędów pomiarowych oraz obróbki statystycznej danych pomiarowych. Opis teorii błędów, jako zagadnienie podstawowe, przedstawione na bazie dostępnej literatury nie jest niezbędny w rozprawie doktorskiej. Niezbyt zrozumiałe jest stwierdzenie Autora (str. 98, 2d), że „słuszne jest zastąpienie analizy błędów przeprowadzoną obróbką statystyczną danych pomiarowych”.

Rozdział 7 zawiera opis modelowania matematycznego dachówek fotowoltaicznych zintegrowanych z dachem. Opisane są zasady uwzględniania faktu integracji elementu fotowoltaicznego z konstrukcją dachu w kontekście oporu cieplnego, co ma znaczenie w przypadku temperatury ogniw PV. Przedstawione i omówione wyniki analizy na podstawie danych zbieranych w wieloletnim okresie, są dobrym materiałem do weryfikacji i potwierdzenia prawidłowości stosowanego modelu matematycznego instalacji fotowoltaicznej zintegrowanej z dachem (dachówki PV) w zakresie zależności energetycznych (moc, energia, sprawność) przy uwzględnieniu wpływu temperatury.

W tej kwestii nasuwa się wątek poboczny w stosunku do celu pracy. Czy na podstawie przeprowadzonych przez Autora analiz możliwe jest wnioskowanie odnośnie specjalnych konstrukcji dachu w obszarach jego pokrycia dachówkami PV? Producenci zalecają strefy buforowe od brzegu dachu lub kalenicy. Czy właśnie w tych strefach można by instalować dodatkowe elementy poprawiające pracę wbudowanych w strukturę dachu modułów PV (większa sprawność konwersji energii), nie pogarszające izolacji cieplnej całej konstrukcji dachu od strony wnętrza (np. poddasza)? Mogą to być choćby zwielokrotnione dachówki wentylacyjne lub specjalne kanały wentylacyjne.

W rozdziale 8, Autor przedstawił statystyczną analizę wagi poszczególnych parametrów dachówek fotowoltaicznych w aspekcie zależności energetycznych w konwersji energii. W wyniku przeprowadzonego testu Kolmogorowa-Smirnowa, Autor stwierdził, że zmierzone wartości mocy instalacji fotowoltaicznych zintegrowanych z dachem nie cechują się rozkładem normalnym. Wnioskiem jest to, że modele regresji nie powinny być najważniejszą lub jedyną metodą w prognozowaniu ilości pozyskiwanej energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznych. Próbował więc stosować inne metody korelacji, jak np. metoda współczynników Spearmana. Jednak uzyskane wyniki są do przewidzenia z fizycznego punktu widzenia, np. „moc P generowana przez instalację fotowoltaiczną zależy bardzo mocno od wartości irradiancji E ” (str. 134, 1d). Wydaje się, że zagadnienie tytułowe tego rozdziału nie zostało wyczerpująco przedstawione przez Autora.

Ostatni rozdział w zasadniczej części rozprawy, dotyczy kosztów wytwarzania energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznych. Zagadnienie to nie wpisuje się bezpośrednio w temat rozprawy doktorskiej. Do uzyskanych wyników przedstawionych w dwóch tabelach, Autor nie wykorzystuje proponowanego modelu matematycznego instalacji fotowoltaicznych zintegrowanych z konstrukcją dachu.

W rozdziale 10, Autor przedstawił uwagi końcowe i sprecyzował wnioski. Cel pracy został osiągnięty. Spis literatury zawiera 200 pozycji, w zdecydowanej większości anglojęzycznej. Dobór i wykorzystanie źródeł literaturowych jest właściwe. Ponadto, praca doktorska zawiera: spis tabel, spis rysunków oraz zamieszczone na początku: spis treści i zestawienie ważniejszych oznaczeń.

3. Osiągnięcia naukowe Autora

Mgr inż. Dariusz Kurz wykazał się wiedzą w zakresie aktualnego stanu techniki i badań naukowych dotyczących zagadnień energetycznych nowoczesnych instalacji

fotowoltaicznych zintegrowanych z konstrukcją poszycia dachowego. Wykazał się umiejętnością planowania, przygotowania i przeprowadzenia eksperymentu badawczego, trwającego w okresie kilkuletnim. Zapoznał się z proponowanymi w literaturze sposobami modelowania wpływu parametrów samej instalacji fotowoltaicznej (ogniw lub modułów PV) oraz elementów konstrukcji dachu na wskaźniki energetyczne, takie jak np.: moc układu, ilość pozyskiwanej energii elektrycznej i sprawność energetyczna. Na podstawie wyników, głównie własnych badań eksperymentalnych, zidentyfikował niedostatki proponowanych modeli i zaproponował modyfikację w modelach, prowadzącą do uzyskania wyższego poziomu ich adekwatności.

Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu zastosowania sposobu umożliwiającego uwzględnienie oprócz parametrów własnych instalacji fotowoltaicznej (ogniw lub modułów PV) również parametrów elementów konstrukcji dachu w modelu matematycznym foto-elektro-termicznym instalacji zintegrowanej (dachówka PV z dachem), charakteryzującym się wyższym stopniem adekwatności w stosunku do modeli proponowanych w literaturze.

Główne osiągnięcia naukowe Autora to:

1. Opracowanie planu, wykonanie stanowisk badawczych wraz z opomiarowaniem i wykonanie badań eksperymentalnych (w okresie wieloletnim), w wyniku których uzyskał nową wiedzę w zakresie rzeczywistego wpływu różnych parametrów zintegrowanego układu fotowoltaicznego (dachówka PV z konstrukcją dachu) na moc, uzyskiwaną ilość energii elektrycznej oraz sprawność energetyczną (z uwzględnieniem rzeczywistych wartości irradiancji).
2. Usystematyzowanie zagadnień dotyczących obliczania parametrów cieplnych struktury złożonej z elementu układu fotowoltaicznego (w tym przypadku dachówki PV) oraz konstrukcji poszycia dachowego, w którą wkomponowany jest ten układ. Przedstawione wzory i sposób postępowania pozwalają na wyznaczenie oporu cieplnego całego układu oraz przedstawienie ilościowego udziału mocy cieplnych w różnych układach.
3. Modyfikacja proponowanych w literaturze, a posiadających określone niedostatki, modeli matematycznych zintegrowanych układów fotowoltaicznych (dachówka PV z różnymi konstrukcjami dachu), w tym wyznaczenie współczynników w modelach foto-elektro-termicznych przedmiotowych układów, uwzględniających energię zakumulowaną w przestrzeni dachowej, która ma bezpośredni wpływ na temperaturę ogniw PV. Pozwoliło to na poprawę adekwatności stosowanych modeli matematycznych.
4. Opracowanie planu i wykonanie szeregu badań symulacyjnych złożonych zintegrowanych układów fotowoltaicznych, w wyniku których wyznaczone wartości temperatury (z wysoką adekwatnością) pozwalają na określanie (prognozowanie) ilości pozyskanej energii elektrycznej w tych zintegrowanych układach. Wyniki te pozwalają również na usprawnienie procesu projektowania tego typu instalacji fotowoltaicznych wbudowanych w strukturę poszycia dachowego.

4. Pytania i uwagi dyskusyjne

1. Autor pisze o efektywności konwersji energii promieniowania słonecznego na energię elektryczną (np.: str. 8, 2g, 3d). Jaką definicję efektywności Autor stosuje i jakimi wskaźnikami chce mierzyć efektywność konwersji? Czy wystarczy sformułowane w kontekście efektywności konwersji rozpatrywanie „orientacji przestrzennej fotoodbiornika, jego parametrów oraz mocy promieniowania słonecznego” (str. 8, 3d)? Jaka jest relacja efektywności konwersji i sprawności konwersji fotowoltaicznej (str. 9, 5g)?

2. Autor stwierdza (str. 9, 11g), że dachówki fotowoltaiczne, łączące w sobie funkcje ogniwa PV i pokrycia dachowego, pozwalają „na optymalne wykorzystanie energii Słońca ze względu na ich właściwą ekspozycję i kąt nachylenia dachu budynku”. Co jest wyznacznikiem optymalnego wykorzystania w tym układzie? I jak ma się to stwierdzenie do uwagi poczynionej przez Autora w dalszej części (str. 9, 7d), że „zastąpienie paneli fotowoltaicznych dachówkami PV ... niesie za sobą pewne negatywne skutki energetyczne, objawiające się niższą sprawnością generacji energii elektrycznej”?
3. Na str. 37, Autor napisał wzór (5.1) na „sumę prądów składowych diody w dwudiodowym schemacie zastępczym ogniwa PV”. Jak wygląda ten schemat i dla której diody obowiązuje wzór (5.1)? W jakim układzie pomiarowym wykonano eksperymentalną charakterystykę przedstawioną na rys. 5.2 (str. 37)? O jakiej rezystancji jest napisane na str. 38, 7-8d? W jaki sposób i przy jakich założeniach wykonano eksperyment, którego wyniki przedstawiono na rys. 5.4 (str. 40)?
4. Autor, w niektórych fragmentach tekstu, wspomina o warunkach STC, np.: str. 42, 12d; str. 47, wzór (5.21); str. 48, wzory (5.23) i (5.24); str. 50, tabela 5.1. Czy w eksperymentach wykonanych przez Autora, np. dla wyników przedstawionych na rys. 5.5 (str. 43) były spełnione te warunki? Jak mają się warunki eksperymentu, którego schemat przedstawiono na rys. 5.12 (str. 54) oraz warunki eksperymentu, którego wyniki przedstawiono na str. 56, rys. 5.14 do warunków STC? Podobne pytania dotyczą warunków NOCT, o których napisano na str. 60.
5. Równanie (5.16) na str. 43 określa współczynnik wypełnienia FF . Jaka jest interpretacja fizyczna tego współczynnika, szczególnie „mocy pozornej” jako iloczynu natężenia prądu zwarcia i napięcia w stanie jałowym?
6. Autor stwierdza (str. 48, 7d), że „w celu wyznaczenia mocy generowanej przez moduł fotowoltaiczny, przedstawiony model jednodiodowy jest wystarczający ...”. W kontekście celu rozprawy, należy zapytać, czy jest wystarczający również w zakresie elektryczno-termicznym? Jeśli nie, to jakie są tego podstawy fizyczne? Jak w tym kontekście rozumieć stwierdzenie Autora w dalszej części pracy (str. 49, 5d), że „z uwagi na uproszczony proces obliczeniowy oraz wystarczająco dobre wyniki, autor zaimplementował jednodiodowy model ogniw fotowoltaicznych, w celu analizy porównawczej charakterystyk prądowo-napięciowych ...”?
7. Na rys. 5.12 (str. 54) przedstawiony został schemat rozmieszczenia czujników w eksperymencie pomiarowym. Z opisu wynika, że badania były prowadzone w czasie dwóch lat. Czy zapewniono odpowiednią kalibrację i weryfikację poprawności pomiaru np. czujników temperatury Pt100? W kontekście szczegółowego opisu stanowisk badawczych (str. 87, 14g) Autor pisze o okresowych weryfikacjach danych pomiarowych. Czy w czasie badań wystąpiła konieczność korekty elementów układu pomiarowego?
8. Jakie jest uzasadnienie fizyczne zastosowania schematu zastępczego, jak na rys. 5.13 (str. 55), dla osiemnastu szeregowo połączonych ogniw PV? Czy wystarczy tylko w schemacie jednodiodowym układu fotowoltaicznego wstawić osiemnaście szeregowo połączonych diod (zamiast jednej), zwiększyć osiemnaście razy rezystancję R_s oraz zwiększyć osiemnaście razy rezystancję R_b ? Czy nie należy zastosować modelu w postaci szeregowo połączonych dwójników nieliniowych odwzorowujących model jednodiodowy jednego ogniwa PV?
9. Autor podaje (str. 72, 10d), że opracował „schemat obwodu dla modelu PET dachówki PV” i odsyła do rysunku 5.20 na str. 72. Wyjaśnienia wymaga fakt przypisania wskazanemu rysunkowi pozycji [169] w spisie literatury. Celowe byłoby szczegółowe wyjaśnienie wprowadzonych przez Autora modyfikacji (str. 76, 1g).

Wyżej wymienione pytania i uwagi dyskusyjne nie zmieniają ogólnej, pozytywnej oceny tej pracy.

5. Uwagi redakcyjne

• Uwagi ogólne

1. Znaczek występujący w nazwach składających się z członów równorzędnych to łącznik, a nie myślnik. Łącznik to krótka kreska (-) łącząca dwa wyrazy; między tymi wyrazami a łącznikiem nie ma spacji (przerwy). Myślnik zaś (inaczej pauza) to znak interpunkcyjny, który – najogólniej mówiąc – dzieli zdania na mniejsze części lub rozpoczyna wypowiedź. Jest to długa kreska (–), którą oddziela się spacjami od sąsiadujących wyrazów. Niepoprawne zastosowanie w tym zakresie, np.: str. 10, 3g; str. 20, 16d, 15d; str. 26, 11g; str. 27, 17g; str. 33, 7d; str. 37, 11g, 14g; str. 38, 8g, 3d; str. 40, 1d, 5d; str. 41, 12g; str. 42, 11d; str. 43, 2g; str. 44, 8d; str. 45, 5g; str. 46, 1g; str. 48, 11d; str. 49, 8g, 3d; str. 57, 8g; str. 60, 4d; str. 65, 8d; str. 72, 7d; str. 132, 14g, 5d, 12d; str. 139, 3g, 6g.
2. Symbole wielkości fizycznych powinno się pisać czcionką pochyłą, a np. symbole pochodnych i jednostki czcionką prostą (pomiędzy wartością i jednostką powinien być odstęp, z wyłączeniem znaku %). Niewłaściwe zastosowanie np.: str. 31, w tabeli 3.1; str. 35, 5g; str. 40, wzór (5.6), rys. 5.4; str. 43, rys. 5.5; str. 45, 1g; str. 45, rys. 5.6; str. 56, rys. 5.14; str. 58, rys. 5.15; str. 59, rys. 5.16; str. 59, 1d; str. 60, 8g, 9g, 14d, 10d; str. 61, wzory (5.33) i (5.34); str. 62, 8g, 10g; str. 69, wzór (5.45); str. 73, 7g-10g, 14g; str. 74, 15d i 16d; str. 75, 3g i 4g; str. 77, rys. 5.23; str. 79 i 80, rys. 5.24 – 5.27; str. 108, rys. 7.3; str. 109, 11g-14g; str. 110, rys. 7.4 i 7.5; str. 111, rys. 7.6; str. 112, rys. 7.7; str. 113, rys. 7.8 oraz 7.9; str. 118, 2g.

• Uwagi szczegółowe

1. Str. 8, 2d, powinno być: „... parametrów oraz mocy promieniowania ...”.
2. Str. 11, 7g, powinno być: „... 44%, a nadfioletowego tylko 7% energii”.
3. Str. 11, odwołanie do rys. 3.1 (10g) przywołuje literaturę [199], natomiast po tytule tego rysunku przywoływana jest literatura [139].
4. Str. 12, 12g, z jednostki nasłonecznienia przedstawionej wyżej (8g), wynika, że H jest raczej gęstością energii, a nie energią promieniowania słonecznego.
5. Str. 28, 2d, sformułowanie „żywołność” w stosunku do urządzenia lub elementu technicznego nie jest właściwe. Podobnie na str. 32, 1d.
6. Str. 32, 13d, powinno być: „... 75% jest zamieniane (tracone) w ciepło ...”.
7. Str. 41, wzory (5.9) i (5.10), jeżeli mają tworzyć układ równań powinny być połączone klamrą z lewej strony.
8. Str. 46, 5g, sformułowanie „... wyznaczenie dokładnej różnicy natężeń prądów” w kontekście pomiarów nie jest właściwe.
9. Str. 47, 2g, powinno być: „... rezystancja szeregową R_s oraz rezystancja bocznikowa R_b ”.
10. Str. 49, 2d, powinno być: „... otrzymanych z obliczeń matematycznych i z pomiarów w warunkach rzeczywistych”. Podobnie w tytule pod: rys. 5.14 (str. 56); rys. 5.15 (str. 58); rys. 5.16 (str. 59) oraz: str. 62, 6g, 9g; str. 63, tytuł tabeli 5.2; str. 106, 8g; str. 126, 3d; str. 139, 13g; str. 141, 8d.
11. Str. 52, rys. 5.10, w zapisie ułamków dziesiętnych, jako separator powinien być stosowany przecinek.
12. Str. 53, 9g, powinno być: „... instalacje fotowoltaiczne montowane na polskich dachach”.
13. Str. 56, rys. 5.14, brak jednostek przy wartościach gęstości mocy promieniowania słonecznego.
14. Str. 57, 10g, powinno być: „... materiału półprzewodnikowego, z którego zbudowane jest ogniwo PV”.

15. Str. 65, 11d, powinno być: „... jak, np.: promieniowanie słoneczne, temperatura otoczenia, prędkość i kierunek wiatru, sposób montażu oraz rodzaju materiałów składowych dachówki ...”.
16. Str. 68, wzór (5.44) jest „oderwany” od tekstu. Podobnie wzory: (5.54) na str. 75, (6.5) na str. 96, (6.6) na str. 97.
17. Str. 68, 8d, chodzi raczej o wartość ustaloną temperatury, a nie maksymalną. To samo na rys. 5.18 (str. 69). Str. 75, na kilku stronach rozprawy, Autor pisze o maksymalnych temperaturach ogniw PV (tutaj 8g). Chodzi raczej o wartości ustalone temperatury w różnych warunkach pracy. W przeciwnym przypadku jaka jest interpretacja maksymalnej temperatury ogniw PV? Podobnie na: str. 81, 4g; str. 111, tytuł tabeli 7.5 oraz 2d; str. 112, 7g; str. 141, 4g.
18. Str. 69, 2d, powinno być: „... generowaną moc elektryczną ...” (o ile przyjąć, że moc może być generowana).
19. Str. 69, 2d; str. 70, 3g oraz wzór (5.46), nieprecyzyjnie pod względem interpretacyjnym stosowane wyjaśnienia symbolu Q_{solar} . Ze wzorów (5.45) oraz (5.46) wynika, że jest to moc promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni dachówki fotowoltaicznej.
20. Str. 71, 7d, chodzi raczej o „... formy wymiany ciepła ...”.
21. Str. 73, 6d, powinno być: „... warunków środowiskowych, niezmiennych w czasie analizy”.
22. Str. 122 i 123, wszystkie elementy rysunku 7.15 powinny być na jednej stronie.
23. Przebieg prędkości wiatru, przedstawiony na rys. 7.16 (str. 123) nie jest czytelny.
24. Str. 133, rys. 8.1, opis osi poziomej nie jest jasny. W tekście na str. 132 napisano, że jest to moc instalacji PV.
25. Str. 137, 13d, powinno być: „... cechuje się wyższymi kosztami ...”.
26. Str. 141, 14g, akumulowana jest nie moc, tylko energia.

Wyżej wymienione uwagi redakcyjne nie zmieniają ogólnej, pozytywnej oceny tej pracy.

6. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu zastosowania sposobu umożliwiającego uwzględnienie oprócz parametrów własnych instalacji fotowoltaicznej (ogniw lub modułów PV) również parametrów elementów konstrukcji dachu w modelu matematycznym foto-elektro-termicznym instalacji zintegrowanej (dachówka PV z dachem), charakteryzującym się wyższym stopniem adekwatności w stosunku do modeli proponowanych w literaturze. Przedstawiona do oceny rozprawa, a szczególnie zaprezentowane w niej wyniki świadczą o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez mgr. inż. Dariusza Kurza.

W mojej ocenie rozprawa doktorska pt.: „Analiza wybranych parametrów elektrycznych dachówek fotowoltaicznych”, autorstwa mgr. inż. Dariusza Kurza spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2017, poz. 1789) oraz w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. 2018, poz. 261).

W związku z pozytywną oceną pracy wnoszę o przyjęcie jej jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgr. inż. Dariusza Kurza do publicznej jej obrony.

