

dr hab. inż. Mirosław Wołoszyn
Wydział Elektrotechniki i Automatyki
Politechniki Gdańskiej



Gdańsk, 11.05.2019

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Dariusza Kurza
pt.: "ANALIZA WYBRANYCH PARAMETRÓW
ELEKTRYCZNYCH DACHÓWEK
FOTOWOLTAICZNYCH"**

Recenzja rozprawy mgr inż. Dariusza Kurza została opracowana na zlecenie
Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej w Poznaniu,
pismo DE-012/131/2019.

1. Ocena wyboru tematyki i zakresu rozprawy

Rozprawa doktorska pt.: „Analiza wybranych parametrów elektrycznych dachówek fotowoltaicznych” zawiera 158 stron i składa się z 10 rozdziałów. Bibliografia zawiera 200 pozycji, w tym 8 pozycji autorskich Doktoranta oraz 7 współautorskich. Rozprawa dotyczy dyscypliny naukowej energetyka.

Problematyka związana z instalacjami fotowoltaicznymi jest ważna i aktualna. Efektywność konwersji energii słonecznej na elektryczną zależy od wielu czynników takich jak: konstrukcja i wymiary ogniwa fotowoltaicznego, parametrów materiałowych i temperatury ogniwa. Tradycyjne panele fotowoltaiczne montowane są na konstrukcji wsporczej nad powierzchnią gruntu lub na dachu. Interesujące rozwiązania ogniw fotowoltaicznych pojawiły się w ostatnich latach, które pozwalają na wkomponowywanie ogniw (BIPV) w strukturę budynku architektonicznego. Jednym z rozwiązań są dachówki fotowoltaiczne. Ogniwa fotowoltaiczne wbudowane w dachówki mają gorsze warunki chłodzenia w porównaniu z ogniwami montowanymi na konstrukcjach wsporczych. Wielu autorów rozważało wpływ warunków chłodzenia tylnej części ogniwa fotowoltaicznego, a autorzy pracy [56] przeprowadzili badania eksperymentalne, wpływu rodzaju ocieplenia dachu na temperaturę ogniw i energię produkowaną przez dachówki fotowoltaiczne. Rodzaj ocieplenia dachu nie ma dużego wpływu na energię produkowaną przez dachówki fotowoltaiczne, bo wynosi zaledwie kilka procent. Praca doktorska mgr inż. Dariusza Kurza dotyczy właśnie tematyki wpływu ocieplenia dachu na parametry elektryczne i cieplne dachówek fotowoltaicznych. Doktorant rozszerzył to zagadnienie o modelowanie i symulacje dachówek zintegrowanych z dachem.

Zakres prac przeprowadzonych w rozprawie dotyczy badań symulacyjnych i eksperymentalnych efektywności energetycznych dachówek fotowoltaicznych zamontowanych na trzech zbudowanych przez Autora konstrukcjach o różnym stopniu ocieplenia. Doktorant opracował model matematyczny dachówek fotowoltaicznych i przeprowadził szereg symulacji komputerowych, a następnie przeprowadził w ciągu kilku lat badania eksperymentalne efektywności dachówek fotowoltaicznych w zależności od typu ocieplenia dachu. Uważam przyjęty w opiniowanej rozprawie doktorskiej zakres badań za uzasadniony. Opiniowana rozprawa ma charakter pracy naukowo-badawczej zawierającej również aspekty projektowe i konstrukcyjne.

2. Treść i zakres rozprawy

W rozdziale pierwszym Autor przedstawił problematykę związaną z fotowoltaiką.

W rozdziale drugim podano cel, zakres i tezę pracy. Jako za cel pracy Autor postawił sobie wykonanie badań wybranych parametrów elektrycznych i termicznych dachówek fotowoltaicznych oraz opracowanie modelu elektryczno-termicznego ogniwa PV. Zakres pracy obejmuje modelowanie dachówek fotowoltaicznych, budowę stanowiska badawczego, badania symulacyjne i eksperymentalne oraz analizę porównawczą wybranych parametrów dachówek PV dla czterech różnych warunków cieplnych pracy dachówek. Zakres tych prac uważam za dobrany właściwie.

W rozdziale trzecim opisano w interesujący sposób efekt fotowoltaiczny, technologie produkcji i rodzaje ogniwa PV oraz ogniwa zintegrowane z budynkiem (BIPV).

W rozdziale czwartym Autor podał aktualny stan wiedzy związany z fotowoltaiką.

Rozdział piąty poświęcony jest modelowaniu i symulacji oraz badaniom eksperymentalnym ogniwa PV. Autor zaprezentował jedno oraz dwudiodowy schemat zastępczy ogniwa PV. Przeprowadził badania symulacyjne i eksperymentalne parametrów elektrycznych ogniwa. Na uwagę zasługuje zadawalająca zgodność wyników symulacyjnych i eksperymentalnych charakterystyk prądowo-napięciowych w zależności od irradiancji (rys.5.14) i temperatury ogniwa (rys.5.16). Autor nie podał w jaki sposób zmierzył temperaturę ogniwa T_{PV} . Dużą zbieżność mają również charakterystyki mocy w funkcji napięcia ogniwa dla różnych wartości irradiancji (rys.5.14) i temperatury ogniwa (rys.5.16). Różnice wynoszą poniżej 5%. W Tab.5.2 podano wartości parametrów elektrycznych dachówki FTDS52 z przesadną dokładnością do $100\ \mu W$ i $100\ \mu V$. Przedstawiony na rys.5.17 schemat zastępczy modelu RC dachówki jest niekompletny. W schemacie brakuje elementu obwodu związanego z temperaturą otoczenia. Czy moc cieplna P_{PV} powinna być zamodelowana idealnym źródłem napięciowym? Następne pytanie dotyczy sposobu obliczenia wypadkowej pojemności cieplnej ogniwa. Podany przez Autora wzór (5.43) jest prawdziwy, jeżeli pominięte zostaną rezystancje cieplne poszczególnych warstw ogniwa. Wartości tych rezystancji są zdecydowanie mniejsze w porównaniu z rezystancjami R_{sc} i R_{si} , co pozwala na zastosowanie przybliżonego wzoru (5.43). Autor nie skomentował sposobu wyznaczenia pojemności cieplnej. Autor nie wyjaśnił przyczyny różnych wartości rezystancji cieplnej R_{si} w zależności od kierunku przepływu ciepła podanych w Tab.5.5 oraz jaką wartość ostatecznie przyjął w obliczeniach. Sposób obliczenia wypadkowej rezystancji cieplnej budzi moje wątpliwości. Nie ma to jednak żadnego wpływu na wyniki obliczeń symulacyjnych, jako że Autor w rozwiązaniu stanu przejściowego nie uwzględnił ostatecznie rezystancji cieplnej ogniwa, wprowadzając w równaniu konwekcyjne straty mocy cieplnej. Schemat obwodu dla modelu PET (rys.5.20) został przedstawiony również w pracy [169], a Autor rozprawy podał, że jest to jego schemat autorski. To wymaga wyjaśnienia. Pozostałe moje uwagi zawarłem w uwagach krytycznych.

W rozdziale szóstym Doktorant przedstawił metodologię badań dachówek fotowoltaicznych zintegrowanych z konstrukcją dachową oraz przeprowadził analizę błędów pomiarowych i analizę statystyczną wybranych danych pomiarowych.

W rozdziale siódmym Autor przedstawił model elektryczno-termiczny dachówki uwzględniając opory termiczne konstrukcji dachowych z trzema rodzajami ocieplenia. Przedstawił interesujące wyniki badań eksperymentalnych i symulacyjnych, w których największą zbieżność mają przebiegi mocy w czasie. Mniejszą zbieżność mają natomiast przebiegi temperatury w czasie. Autor nie wyprowadził zależności opisujących parametry r_1 i r_2 . W jaki sposób mierzona była temperatura dachówki i w którym miejscu? Pozostałe moje uwagi zawarłem w uwagach krytycznych.

W rozdziale ósmym przedstawiono statystyczną analizę istotności parametrów dachówek fotowoltaicznych, na podstawie której Autor wykazał wpływ wybranych parametrów na uzysk energii elektrycznej potwierdzając wcześniej sformułowane wnioski.

W rozdziale dziewiątym Doktorant przeprowadził krótką analizę ekonomiczną wytwarzania energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej wykazując większe koszty inwestycji w przypadku ogniw wbudowanych w dachówki.

W ostatni rozdziale Autor postawił słuszne wnioski poza stwierdzeniem, że stała czasowa dachówki fotowoltaicznej zależy od irradiancji i od temperatury otoczenia.

3. Ważniejsze osiągnięcia rozprawy

Opiniowana rozprawa ma osiągnięcia, do których należy zaliczyć:

- podjęcie aktualnej i ważnej z praktycznego i naukowego punktu widzenia tematyki,
- opracowanie modeli cieplnych ogniw PV i wykonanie obliczeń symulacyjnych i eksperymentalnych ogniw w stanie ustalonym,
- zaprojektowanie i zbudowanie modelu fizycznego budynków z dachówkami fotowoltaicznymi oraz przeprowadzenie badań eksperymentalnych,
- opracowanie modelu cieplnego dachówki zintegrowanej z konstrukcją budynku oraz przeprowadzenie badań symulacyjnych.

4. Uwagi krytyczne ogólne

W opiniowanej rozprawie przeprowadzono obadania symulacyjne i badania eksperymentalne mające na celu wykazanie wpływu oporu cieplnego konstrukcji dachowej na parametry elektryczne dachówek. Sposób wykonania i interpretacja badań symulacyjnych i eksperymentalnych nie budzi większych zastrzeżeń. Zastrzeżenia natury ogólnej budzą następujące aspekty rozprawy dotyczące:

- 1) Na stronie 46 Autor nie podał wartości prądów przy obliczaniu rezystancji bocznikowej. Proszę podać jakie przyjęto do obliczeń wartości $I_{(-0,5V)}$ i I_{sc} .
- 2) Na str. 49 Autor podaje, że „Z uwagi na uproszczony proces obliczeniowy oraz wystarczające dobre wyniki, Autor zaimplementował jednodiodowy model ogniw”. Co Autor miał na myśli pisząc to zdanie ?
- 3) W podrozdziale 5.6 Autor przyjął do obliczeń symulacyjnych wartość gęstości mocy promieniowania słonecznego równą 849 W/m^2 . Dlaczego przyjęto dokładnie taką wartość.
- 4) Na rys. 5.16 Autor porównuje charakterystyki $I=f(U)$ oraz $P=f(U)$ wykonane dla różnych wartości temperatur ogniw PV T_{pv} „...($E=849 \text{ W/m}^2$ w trakcie wykonywania symulacji lub zbliżonej w trakcie pomiarów rzeczywistych), otrzymane na drodze symulacji komputerowych oraz badań własnych”. W jaki sposób Autor zmierzył wartości temperatur T_{pv} . Co to są badania własne ?
- 5) W tabeli 5.2 Autor podał wartości prądów, napięć i mocy dachówki z dokładnością do czwartego miejsca po przecinku. Czy pomiary rzeczywiście były tak dokładne ? W opisie tabeli 5.2 Autor podał, że „Wartości temperatury ogniw PV w trakcie pomiarów były zbliżone do temperatur przyjętych w symulacji”, co nie jest precyzyjną informacją. Należało podać zależności liczbowe.
- 6) Na rys.5.17 Autor przedstawił elektryczny schemat zastępczy modelu RC dachówki. W schemacie tym nie ma elementów odwzorowujących temperaturę na powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej dachówki. Czy w schemacie tym rzeczywiście powinno wystąpić idealne źródło napięciowe P_{pv} ?

- 7) W tabeli 5.5 Autor podał różne wartości oporu cieplnego R_{si} i R_{se} w zależności od kierunku strumienia cieplnego nie podając przyczyny różnych wartości oporów.
- 8) Na str. 68 Autor podał wartość $C_{th} = 8926,74$ J/K. Skąd otrzymano tę wartość skoro w tabeli 5.4 sumaryczna wartość C_{th} wynosi poniżej 5000 J/K.
- 9) W podrozdziale 5.9 Autor opisując model PET dachówki podaje, że „Na podstawie parametrów oporu i pojemności cieplnej (dachówki PV) możliwe jest wyznaczenie temperatury wewnętrznej dachówki PV”. Jednakże w przedstawionym modelu (wzór 5.45) nie występuje opór termiczny dachówki. Proszę o komentarz.
- 10) Na str. 70 Autor opisuje stosunek mocy cieplnej konwekcji wymuszonej na przedniej powierzchni dachówki do konwekcji swobodnej w tylnej części modułu, nie powołując się na literaturę.
- 11) Na str. 71 Autor pisze bez uzasadnienia, że można pominąć proces radiacji.
- 12) Na str.72 Autor podał, że na rys.5.20 przedstawiono opracowany przez Autora rozprawy schemat obwodu dla modelu PET dachówki PV. Model ten został również przedstawiony przez autorów pracy [169] w 2017 r. Proszę o komentarz w tej sprawie. W modelu przedstawionym przez autorów pracy [169] występują dwa źródła prądowe Q_{solar} i I_{PH} . Po prawej stronie schematu występuje błąd, ponieważ rezystor R_{PV2Amb} połączony jest z jednej strony z masą. Po prawej stronie schematu powinno wystąpić źródło napięciowe równe co do wartości T_{Amb} połączone z rezystorem R_{PV2Amb} . Schemat jako taki jest niefizyczny ze względu na połączenie modelu elektrycznego z modelem termicznym.
- 13) W tabeli 5.6 podano różne wartości stałych czasowych dachówki dla modelu PET dla czterech testów. Skoro wartość stałej czasowej zależy od prędkości wiatru i od irradiancji to skąd różne wartości stałej czasowej dla tej samej prędkości wiatru (test1≠test2 oraz test3≠test4) ? W 6.wierszu pierwszego akapitu na str.74 Autor pisze o stałej czasowej „...nie uwzględniają aktualnych warunków środowiskowych, w jakich pracuje dachówka irradiancji, prędkości i kierunku wiatru...”. Zgodnie ze wzorem (5.52) wielkością związaną z warunkami środowiskowymi to tylko prędkość wiatru bez uwzględnienia jego kierunku. Dalej Autor podaje wyniki obliczeń stałej czasowej dla przypadku bez wiatru dla irradiancji 1000 W/m^2 i 600 W/m^2 . Różnica w wartościach stałych czasowych (wartość stałej czasowej - 35min) wynosi zaledwie 0,05min, co potwierdza brak wpływu irradiancji na wartość stałej czasowej. O nie znaczącym wpływie irradiancji na wartość stałej czasowej pisze zresztą Autor rozprawy kilka wierszy dalej. Proszę o komentarz w sprawie wpływu warunków środowiskowych na wartość cieplnej stałej czasowej dachówki.
- 14) Na str.74 w 6.wierszu drugiego akapitu Doktorant stawia wniosek, że zmiana wartości irradiancji powoduje wprost proporcjonalne zmiany maksymalnej wartości temperatury. Czy na podstawie obliczeń dla tylko dwóch wartości irradiancji można postawić taki wniosek ?
- 15) Na str.76 Autor podaje, że „Uzyskane wyniki obliczeń na podstawie modelu PET w porównaniu z dostępnymi w literaturze tematami zależnościami potwierdzają słuszność i prawidłowość wprowadzonych modyfikacji”. Jednak w tabeli 5.7 wartości temperatur z modelu PET oraz ze wzoru (5.54) są różne szczególnie dla testu 1, aż o 10 K, co stanowi około 10%. Co wprowadzone modyfikacje wprowadziły nowego w rozważanym zagadnieniu.
- 16) Na rys.5.23 przedstawiono wykresy temperatury dachówek fotowoltaicznych w funkcji irradiancji dla trzech testowanych instalacji. Na wykresach występują duże różnice w wartościach temperatury T_{tile} sięgające nawet 15K (dla instalacji D1) dla zbliżonych wartości irradiancji. Proszę o wyjaśnienie tych różnic.

- 17) Na str.77 w 6. wierszu od dołu Autor podaje, że „Podobne wartości współczynników otrzymali autorzy pracy [56], którzy prowadzili podobne badania, lecz w warunkach klimatycznych Wielkiej Brytanii”. Jakie są to podobne wartości i podobne badania ?
- 18) Na rys.5.24-5.27 Doktorant przedstawił charakterystyki temperatur dachówek i irradiancji w czasie dla trzech instalacji, które potwierdzają postawioną w pracy tezę. Opis izolacji dachu dla trzech instalacji jest jasny, ale proszę o informację, jak ocieplone były pozostałe ściany trzech budowli i krótki komentarz czy mogło to mieć wpływ na przeprowadzone pomiary.
- 19) (str.84 i pozostałe) Proszę podać jakie kryteria przyjęto wybierając „rekomendowany dzień” ?
- 20) W jaki sposób połączone były dwa trójfazowe rezystory suwakowe w układzie pomiarowym ? Proszę podać schemat elektryczny układu pomiarowego z rezystorami.
- 21) Na str.107 (10 wiersz od góry) Autor podaje, że moc cieplna Q_{izol} „przeniknie przez izolację (strukturę) dachu do wnętrza budynku”. Tak będzie jeżeli temperatura wnętrza budynku będzie mniejsza niż temperatura z tyłu dachówki. Lepiej użyć w tym wypadku pojęcia strumienia ciepła.
- 22) Na rys.7.2 oraz rys.7.3 źle oznaczono moc cieplną w szczelinie powietrznej Q_{aku} , jako że we wzorze (7.17) moc ta przyczynia się do wzrostu temperatury dachówki. We wzorze (7.17) pominięto opisane na str.107 i na rys.7.3 moce cieplne Q_{przod} , $Q_{tył}$ i Q_{izol} . Po co zatem było je wprowadzać. W modelu dachówki PV zintegrowanej z dachem pominięto pojemność cieplną stropu. Z pewnością jest niewielka, ale należało tę kwestię poruszyć.
- 23) Autor nie przywołał publikacji opisując wzór (7.18). Czy jest to formuła autorska, a jeżeli tak to należało uzasadnić i wyprowadzić wzory na współczynniki r_1 i r_2 . Należy zauważyć, że zgodnie ze wzorem (7.18) moc cieplna Q_{aku} ma zawsze wartość dodatnią. Przyjęty model wyklucza zatem zmianę kierunku strumienia cieplnego w szczelinie dachowej. Sam opis wzoru (7.18) jest błędny, ponieważ należało zastosować notację $Q_{aku}(t_n)$ i $Q_{aku}(t_{n-1})$. Jaką zatem Autor przyjął w obliczeniach „poprzednią chwilę czasową” ?
- 24) We wzorze (7.21) pominięto moc cieplną związaną z promieniowaniem, o czym Autor w tym podrozdziale nie wspomniał.
- 25) Wartości temperatur zamieszczone w tabeli 7.5 i 7.6 podano z przesadną precyzją do dwóch miejsc po przecinku. Wartości stałych czasowych podane w tabeli 7.6 powinny być takie same dla wszystkich konstrukcji dachowych i testów z jednakową prędkością wiatru. Różnice wartości podane w tabeli są niewielkie. Z czego wynikają te różnice ?
- 26) Na rys.7.7-7.9 występują krzywe w tym samym kolorze lub bardzo podobnym na wydruku dla dachówki wolnostojącej i dachówki w konstrukcji dachowej D1.
- 27) Wyniki pomiarów i obliczeń podane w tabelach 7.7-7.9 nie zachęcają czytelnika do przeprowadzenia analizy wyników. Spodziewałbym się wykresów a nie liczb. Wartości w tabelach wystarczyło podać do jednego miejsca po przecinku.
- 28) Sposób obliczenia parametru Δ [%] w tabeli 7.10 nie jest jasny.
- 29) Rozkłady temperatury na rys.7.10-7.15 są bardzo podobne. Wydaje się, że wybranie jednej z konstrukcji jako odniesienia i podanie różnicy rozkładów temperatury na wykresach byłoby bardziej czytelne.
- 30) Czy na rys.7.18 nie pomyłono opisu wykresów dla konstrukcji D2 i D3 ?
- 31) Autor na str.126 podał, że na rys.7.20 przebiegi temperatury dachówki PV otrzymane z pomiarów i symulacji „są ze sobą porównywalne”. W jakim sensie ? Widać wyraźnie jakościowe i ilościowe różnice w przebiegach. Podobne różnice widać na rys.7.24 i rys.7.26.

Oczywiście modelowanie procesów termicznych jest złożonym zagadnieniem i trudno spodziewać się w tym skomplikowanym procesie dużych zbieżności. W wypadku mocy elektrycznych dachówek zbieżność wyników z symulacji i pomiarów jest zadawalająca (błędy względne w odniesieniu do mocy maksymalnej wynoszą poniżej 10% - rys.7.23, rys.7.25 i rys.7.27).

- 32) Na str.131 Autor podał, że symulacje potwierdziły wniosek, że temperatura dachówki zależy wprost proporcjonalnie od wartości oporu cieplnego struktury konstrukcji dachowej. Jednak porównując temperatury dachówek z rys.7.20, rys.7.24 i rys.7.26 różnice temperatur wynoszą około 20K przy maksymalnej temperaturze dachówek w konstrukcji D2, co daje około 40% różnicy względnej. Natomiast wg tabeli 7.4 opór cieplny dachu w wypadku konstrukcji D2 jest 3. krotnie mniejszy w porównaniu z oporem cieplnym konstrukcji D1 i D2. Proszę o komentarz w tej kwestii.
- 33) Na str.140 Autor podaje, że „...wykazał także wyższość modelu PET nad RC w celu wyznaczenia stałych czasowych dachówki PV...”. Jednak stała czasowa przyjętej w analizie dachówki jest zależna tylko od prędkości wiatru. Na czym zatem polega wyższość modelu PET nad RC ?
- 34) Na str.140 Autor pisze, że zmodyfikował model PET. Proszę o informację na czym polega modyfikacja.
- 35) Na str.141 pod koniec pierwszego akapitu Autor rozprawy pisze „... Na wartość maksymalną temperatury ogniwa PV oraz jej stałą czasową wpływa irradiancja, temperatura otoczenia oraz prędkość wiatru...”. To samo powtórzył Autor w ostatnim akapicie. Jednak Autor na str.74 pisze „Wartość irradiancji nie wpływa znacząco na wartość stałej czasowej układu..” Proszę o komentarz w tej sprawie.

5. Uwagi szczegółowe

W symbolu str.Xⁿ_m, X-oznacza numer strony, n-numer wiersza od góry strony, m-numer wiersza z dołu strony. Tekst napisany czeionką *italic* jest tekstem z rozprawy.

- str.6^{4,5} jedno oznaczenie dla dwóch wielkości „ σ ”.
- str. 11⁵ *fal elektrochromatycznych* → ?,
- str. 34⁷ *prawdopodobieństwa* → podobieństwa,
- str. 39⁵ *zależność (5.13)* → zależność podano trzy strony dalej,
- str.43₆ *mocy pozornej* → co to za moc ?,
- str.47₆ *STC* → brak opisu w wykazie oznaczeń,
- str.48^{6,7} *wartość* → wartości,
- str.60 wzór (5.29) *T* → czy T_{pv} ?,
- str.61 wzór (5.34) k_B → k_B ,
- str.64 wzór (5.37) brak opisu w wykazie oznaczeń wielkości U_{max} ,
- str.66¹ *w celu odwzorowania analizowanej dachówki* → odwzorowania czego ?,
- str.66₁ *skierowanego w dół* → brak opisu co Autor ma na myśli, podobnie w opisie „w górę”
- str.68₅ *wartość* → wartości,
- str.69₂ *generowana* → generowaną,
- str.70² *energia słoneczna* → jednostką jest [W] ?,
- str.71₄ *docierającej po* → przez ?,
- str.73¹¹ *z uwagi na własne obserwacje* → jakie obserwacje ?,
- str.76¹¹ *w krótkich odstępach czasu* → jakie odstępy (s, min) ?, informacja niejednoznaczna,
- str.77³ R^2 → brak opisu w wykazie oznaczeń,

str.77₆ *Podobne wartości* → jakie (wartości liczbowe) ?,
str.78₁₃ *dach D2* → D3,
str.83 rys.6.1 → jednostka w $[kW/m^2]$?,
str.84 rys.6.2 → jednostka w $[kW/m^2]$?,
str.84 tabela 6.1 → jednostka w $[kW/m^2]$?,
str.85 tabela 6.2 → po co podawać numer dnia roku ?,
str.93¹ czy komputer „*musi*” posiadać system Windows ? Opis do czego może posłużyć dodatkowo komputer jest zbędny.
str.108 wzór (7.18) → nie powołano się na literaturę ?,
str.126¹¹ *są ze sobą porównywalne* → należało podać wartości liczbowe bezwzględne lub względne,
str.128₃ *Bardzo dużymi zbieżnościami* → należało podać wartości liczbowe bezwzględne lub względne.
str.129 opis pod rys.7.25 jest ten co na rys.7.27. W opisie powinno być „D1”
str.132₉ *współczynnika p_r* → brak wzoru, brak opisu w wykazie oznaczeń parametru p_r ,
str.137₁₃ *cechuj* → cechuje.

6. Ocena poziomu wydawniczego i redakcyjnego rozprawy

Układ treści rozprawy można uznać za właściwy. Doktorant wprowadził w pracy szereg wielkości, których nie ma w spisie oznaczeń. Niektóre wprowadzone czy omawiane wielkości nie znalazły zastosowania w dalszych rozważaniach, co utrudniło zrozumienie rozważanych zagadnień. Praca zawiera nieliczne błędy językowe.

7. Ocena rozprawy doktorskiej

Wybór tematyki rozprawy i jej zakres są właściwe i nie budzą zastrzeżeń. Tematyka rozprawy jest aktualna na tle obecnego stanu wiedzy. Autor rozprawy wykazał wiedzę teoretyczną i praktyczną w zakresie dyscypliny naukowej, której dotyczy rozprawa. Cele postawione w rozprawie zostały osiągnięte.

Nie ulega wątpliwości, że wykonano bardzo pracochłonne i wartościowe badania eksperymentalne i symulacyjne. Na uwagę zasługuje opracowanie przez Doktoranta modelu cieplnego i elektrycznego ogniwa fotowoltaicznego oraz przeprowadzenie analizy porównawczej wyników symulacyjnych i eksperymentalnych dachówek w tych samych warunkach pogodowych, co pozwoliło udowodnić postawioną w pracy tezę.

8. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że rozprawa mgr inż. Dariusza Kurza pt.: „Analiza wybranych parametrów elektrycznych dachówek fotowoltaicznych” spełnia wymagania obowiązującej ustawy "O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki".

Uwzględniając powyższe stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Dariusza Kurza do publicznej obrony.



Mirosław Wołoszyn