

dr hab. inż. Jerzy Pluciński, prof. PG
Politechnika Gdańska,
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki,
Katedra Metrologii i Optoelektroniki

Gdańsk, 15 lutego 2022 r.

Recenzja w postępowaniu habilitacyjnym dra inż. Przemysława Ptaka

1. Uwagi wstępne

Formalną podstawą prawną wykonania recenzji jest powołanie mnie w dniu 29 listopada 2021 r. przez Radę Doskonałości Naukowej na podstawie art. 221 ust. 4 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2021 r. poz. 478) na członka komisji w charakterze recenzenta w postępowaniu habilitacyjnym dra inż. Przemysława Ptaka w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika, wszczętym w dniu 12 października 2021 r. Dokumentację związaną z procedurą habilitacyjną otrzymałem 3 stycznia 2022 r.

Dokumentacja zawiera:

- Wniosek przewodni z dnia 7 października 2021 r.,
- Dane wnioskodawcy,
- Kopię dyplomu doktora nauk technicznych,
- Wykaz osiągnięć naukowych,
- Autoreferat,
- Kopie artykułów A1-A16 dokumentujących osiągnięcie naukowe,
- Oświadczenia współautorów prac dokumentujących osiągnięcie naukowe,
- Parametry bibliometryczne wnioskodawcy w bazach Web of Science, Scopus oraz Google Scholar na dzień 7 października 2021 r.,
- Informację o uzyskanym patencie.

2. Sylwetka zawodowa Habilitanta

Habilitant jest absolwentem Akademii Morskiej w Gdyni, gdzie w 2010 r. uzyskał dyplom ukończenia studiów inżynierskich, a w 2012 r. – magisterskich, kierunku elektronika i telekomunikacja w specjalności sieci teleinformatyczne. W latach 2013–2017 był doktorantem na tej samej uczelni, na Wydziale Elektrycznym. W dniu 21.09.2017 r. Rada Wydziału Elektrycznego Akademii Morskiej w Gdyni, po obronie rozprawy doktorskiej pt. „Modelowanie wpływu zjawisk cieplnych na właściwości elektryczne i optyczne półprzewodnikowych źródeł światła stosowanych w technice oświetleniowej”, nadała mu stopień doktora nauk technicznych z wyróżnieniem w dyscyplinie elektronika, specjalność elementy i układy elektroniczne. Habilitant uzyskał również dyplomy studiów podyplomowych: jeden w zakresie elektronicznych elementów i układów mocy wydany w 2011 r. przez Akademię Morską w Gdyni, oraz drugi w zakresie programowania urządzeń mobilnych wydany w 2019 r. przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie.

Obecnie, od 1 października 2020 r. Habilitant jest zatrudniony w Katedrze Elektroniki Morskiej, na Wydziale Elektrycznym Uniwersytetu Morskiego w Gdyni na stanowisku profesora uczelni; wcześniej, od 1 listopada 2017 w tej samej katedrze był zatrudniony na stanowisku adiunkta.

3. Ocena dorobku naukowego, projektowego, konstrukcyjnego i technologicznego

Głównym obszarem naukowych zainteresowań dra inż. Przemysława Ptaka są badania dotyczące wpływu zjawisk cieplnych na pracę półprzewodnikowych źródeł światła, w szczególności opracowywanie nowych metod pomiarowych i specjalistycznych stanowisk pomiarowych, umożliwiających badania różnych aspektów wpływu oddziaływania ciepła na parametry elektryczne i optyczne tych źródeł, modelowanie tego oddziaływania oraz badania wpływu rozwiązań konstrukcyjnych związanych np. z montażem na te parametry.

3.1. Ocena cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych

Jako osiągnięcie naukowe w rozumieniu Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym” (Dz. U. z 2021 r. poz. 478) – art. 219 ust. 1 pkt. 2 lit. b) Habilitant przedstawił cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych, zatytułowany:

„Badanie wpływu wybranych procesów montażu i zjawisk cieplnych na parametry elektryczne, termiczne i optyczne komponentów półprzewodnikowych źródeł światła”

Cykl ten obejmuje:

- A1. Górecki K., Dziurdzia B., **Ptak P.**: The influence of a soldering manner on thermal properties of LED module. *Soldering & Surface Mount Technology*, Vol. 30, No. 2, 2017, pp. 81-86. <https://doi.org/10.1108/SSMT-10-2017-0026> (IF₂₀₂₀ = 1,552, MEiN=70).
- A2. Górecki K., **Ptak P.**: New dynamic electro-thermo-optical model of power LEDs. *Microelectronics Reliability*, Vol. 91, 2018, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2018.07.132> (IF₂₀₂₀ = 1,589, MEiN=70).
- A3. Górecki K., **Ptak P.**: New method of measurements transient thermal impedance and radial power of power LEDs. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 69, No. 1, 2019, pp. 212-220. <https://doi.org/10.1109/TIM.2019.2894043> (IF₂₀₂₀ = 4,016, MEiN=100).
- A4. Dziurdzia B., Górecki K., **Ptak P.**: Influence of a soldering process on thermal parameters of large power LED modules. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, Vol. 9, No. 11, 2019, pp. 2160-2167. <https://doi.org/10.1109/TCPMT.2019.2898713> (IF₂₀₂₀ = 1,738, MEiN=70).
- A5. Janicki M., Torzewicz T., **Ptak P.**, Raszkowski T., Samson A., Górecki K.: Parametric compact thermal models of power LEDs. *Energies*, Vol. 12, No. 9, 2019, 1724. <https://doi.org/10.3390/en12091724> (IF₂₀₂₀ = 3,004, MEiN=140).
- A6. **Ptak P.**, Górecki K., Dziurdzia B.: Modelling thermal properties of large LED modules. *Materials Science-Poland*, Vol. 37, No. 4, 2019, pp. 628-638. <https://doi.org/10.2478/msp-2019-0075> (IF₂₀₂₀ = 1,022, MEiN=70).

- A7. Górecki K., **Ptak P.**: Influence of the area of a thermal pad on optical and thermal parameters of LED modules. *Circuit World*, Vol. 46, No. 2, pp. 65-70. <https://doi.org/10.1108/CW-11-2019-0174> (IF₂₀₂₀ = 0,875, MEiN=40).
- A8. Skwarek A., **Ptak P.**, Górecki K., Hurtony T., Illés B.: Microstructure influence of SACX0307-TiO₂ composite solder joints on thermal properties of power LED assemblies. *Materials*, Vol. 13, No. 7, 2020, 1563. <https://doi.org/10.3390/ma13071563> (IF₂₀₂₀ = 3,623, MEiN=140).
- A9. Janicki M., **Ptak P.**, Torzewicz T., Górecki K.: Compact thermal modeling of modules containing multiple power LEDs. *Energies*, Vol. 13, No. 12, 2020, 3130. <https://doi.org/10.3390/en13123130> (IF₂₀₂₀ = 3,004, MEiN=140).
- A10. Janicki M., **Ptak P.**, Torzewicz T., Górecki K.: Compact thermal modelling of color LEDs – a comparative study. *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 67, No. 8, 2020, pp. 3186-3190. <https://doi.org/10.1109/TED.2020.2998459> (IF₂₀₂₀ = 2,917, MEiN=100).
- A11. Górecki K., **Ptak P.**, Torzewicz T., Janicki M.: Influence of a thermal pad on selected parameters of power LEDs. *Energies*, Vol. 13, No. 14, 2020, 3732. <https://doi.org/10.3390/en13143732> (IF₂₀₂₀ = 3,004, MEiN=140).
- A12. **Ptak P.**, Górecki K., Skwarek A., Witek K., Tarasiuk J.: The influence of soldering process parameters on the optical and thermal properties of power LEDs. *Soldering & Surface Mount Technology*, Vol. 32, No. 4, 2020, pp. 191-199. <https://doi.org/10.1108/SSMT-03-2020-0012> (IF₂₀₂₀ = 1,552, MEiN=70).
- A13. Górecki K., **Ptak P.**: Thermal, photometric and radiometric properties of multi-color LEDs situated on the common PCB. *Electronics*, Vol. 9, No. 10, 2020, 1672. <https://doi.org/10.3390/electronics9101672> (IF₂₀₂₀ = 2,397, MEiN=100).
- A14. Górecki K., **Ptak P.**: Compact modelling of electrical, optical and thermal properties of multi-colour power LEDs operating on a common PCB. *Energies*, Vol. 14, No. 11, 2021, 1286. <https://doi.org/10.3390/en14051286> (IF₂₀₂₀ = 3,004, MEiN=140).
- A15. Górecki K., **Ptak P.**, Janicki M., Napieralska M.: Comparison of properties for selected experimentals set-ups dedicated to measuring thermal parameters of power LEDs. *Energies*, Vol. 14, No. 11, 2021, 3240. <https://doi.org/10.3390/en14113240> (IF₂₀₂₀ = 3,004, MEiN=140).
- A16. Skwarek A., Krammer O., Hurtony T., **Ptak P.**, Górecki K., Wroński S., Straubinger D., Witek K., Illés B.: Application of ZnO nanoparticles in Sn99Ag0.3Cu0.7-Based composite solder alloy. *Nanomaterials*, Vol. 11, No. 6, 2021, 1545. <https://doi.org/10.3390/nano11061545> (IF₂₀₂₀ = 5,076, MEiN=100).

Ocena bibliometryczna cyklu artykułów

Cykl ten obejmuje szesnaście publikacji z lat 2017–2021 opublikowanych w czasopiśmie z listy Journal Citation Reports (tzw. listy filadelfijskiej), których aktualny *impact factor* (IF₂₀₂₀) zawiera się w przedziale od 0,875 do 5,076 (w tym osiem o IF₂₀₂₀>3,0). Sumaryczny IF₂₀₂₀ przedstawionych prac wynosi 41.377, a sumaryczna liczba punktów MEiN wynosi 1630. Wszystkie publikacje mają po kilku autorów – w dwóch Habilitant jest pierwszym autorem. Z oświadczeń Habilitanta i współautorów wynika, że udział Habilitanta w przedstawionych artykułach wynosi od 15% do 50%. We wszystkich tych artykułach ma on udział w opracowaniu metodologii badań i analizie wyników badań, a w 13 ma on również udział w opracowaniu koncepcji badań. W 14 artykułach brał on także udział w ich redakcji.

Z bibliometrycznego punktu widzenia dorobek ten **jest znaczący**.

Ocena merytoryczna osiągnięć naukowych opisanych w cyklu artykułów

Przedstawiony przez Habilitanta cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie naukowych dotyczy jego osiągnięć w dziedzinie automatyki, elektroniki i elektrotechniki w zakresie badań wpływu wybranych procesów montażu i zjawisk cieplnych na parametry elektryczne, termiczne i optyczne komponentów półprzewodnikowych źródeł światła. Choć działanie diod elektroluminescencyjnych (diod LED) znane było już w latach 20. XX wieku, ich seryjna produkcja rozpoczęła się na początku lat 60. XX wieku. Początkowo sprawność tych elementów była za mała, aby diody LED mogły zostać zastosowane do celów oświetleniowych – diody te znalazły za to szerokie zastosowanie jako wskaźniki, proste wyświetlacze czy np. źródła promieniowania optycznego w optoelektronicznych układach nadawczych. Od chwili wynalezienia w latach 90. XX wieku wysokowydajnych diod elektroluminescencyjnych opartych na azotku galu przez Shūji Nakamurę obserwujemy gwałtowny rozwój półprzewodnikowych źródeł światła – najpierw stosowanych do podświetlenia displejów ciekłokrystalicznych, a następnie do celów oświetleniowych, wypierających żarówki, świetlówki i inne lampy wyładowcze. W tego typu zastosowaniach kluczowe stają się zagadnienia związane ze sprawnością, stałością parametrów optycznych i elektrycznych, niezawodnością i czasem działania tych elementów, gdzie zjawiska cieplne odgrywają podstawową rolę. To właśnie z badaniami tych problemów poświęcony jest przedstawiony cykl artykułów. W szczególności Habilitant przedstawia w nim rozwiązania problemów dotyczących opracowań nowych modeli matematycznych, umożliwiających modelowanie zachodzących zjawisk związanych z procesami elektrycznymi, termicznymi i optycznymi (ETO), (np. modeli uwzględniających związek między dostarczaną energią elektryczną a wytwarzaną energią termiczną i promieniowania optycznego, sprzężenia zwrotne występujące w czasie tego wytwarzania, przepływ ciepła z półprzewodnikowych źródeł światła do środowiska zewnętrznego, wpływ temperatury na ich parametry optyczne i elektryczne, sprzężenie termiczne między tymi elementami itd.), pomiarów parametrów termicznych półprzewodnikowych źródeł światła, odprowadzania powstającego ciepła z diod LED mocy, w tym przez elektryczne i termiczne pola kontaktowe.

Zagadnieniom modelowania procesów ETO poświęcone są prace [A2, A5, A6, A9, A10, A14]. W pracy [A2] Habilitant proponuje nowy model ETO diody LED mocy i w pełni go implementuje w środowisku SPICE. Model ten ma postać modelu obwodowego, łączącego trzy podstawowe bloki: model elektryczny, optyczny i termiczny. Model elektryczny pozwala na wyznaczenie charakterystyk prądowo-napięciowych we wszystkich zakresach pracy diody LED mocy, model optyczny pozwala na wyznaczenie wartości irradiancji (nazywanej w auto-referacie przez Habilitanta niezbyt fortunnie (zdaniem recenzenta) „gęstością mocy optycznej” albo w [A2] „optical power density”), strumienia energetycznego (niefortunnie nazywanego „mocą optyczną” albo „optical power”) i strumienia świetlnego. Model termiczny z kolei pozwala na wyznaczenie temperatury obudowy i temperatury złącza diody. Model ten wykorzystuje sieć Fostera. Opracowany model ETO umożliwia wykonanie obliczeń nieizotermicznych charakterystyk prądowo-napięciowych, przebiegów temperatury wnętrza badanej diody LED mocy, emitowanego strumienia energetycznego i świetlnego emitowanego przez diodę. Słuszność przyjętych założeń w opracowanym modelu i jego działanie zweryfikowano poprzez porównanie wyników symulacji charakterystyk napięciowo-prądowych i temperatury złącza przeprowadzonych z wykorzystaniem modelu z wynikami pomiarów badanych diod – różnice

między tymi wynikami nie przekraczały kilku procent. Opracowanym modelem ETO, w którym w modelowaniu procesów termicznych wykorzystywana jest sieć Fostera, Habilitant posługuje się w badaniach diod LED mocy, opisanych w pracach [A6, A14] oraz w badaniach diod o różnych barwach, które przedstawiono w pracy [A10]. Ponadto w pracach tych Habilitant przedstawił model ETO, który uwzględnia sprzężenia termiczne między kilkoma diodami umieszczonymi na wspólnym podłożu – badane były moduły o dużych wymiarach (o powierzchni większej niż 100 cm^2 [A6] lub elementy zawierające diody o różnych barwach [A14]). Model ten pozwala obliczyć temperatury wewnątrz diod, a także charakterystyki prądowo-napięciowe, radiometryczne i fotometryczne w szerokim zakresie prądu przewodzenia w warunkach statycznych i dynamicznych. W modelowaniu procesów termicznych wykorzystywana jest tzw. przejściowa impedancja termiczna, definiowana jako chwilowy, zależny od czasu stosunek różnicy między temperaturą złącza diody LED mocy a temperaturą otoczenia i mocy energii cieplnej wydzielanej na tym złączu w warunkach nieustalonych. Impedancja ta zależy od rezystancji i pojemności cieplnych wszystkich elementów (a dokładniej – od rezystancji i pojemności właściwych i geometrii tych elementów) oraz połączeń biorących udział w odprowadzaniu energii cieplnej do otoczenia oraz ich chwilowych temperatur. Zaletą stosowania przejściowej impedancji termicznej jest to, że jest ona stosunkowo łatwa do pomierzenia przy skokowej zmianie pobudzenia diody LED mocy, co ma duże znaczenie w weryfikacji modelu.

Model ETO oparty na innym modelu termicznym, jakim jest sieć Cauera, który wykorzystuje rezystancje i pojemności cieplne, był również zastosowany w badaniach diod LED mocy [A5], układów zawierających wiele diod LED mocy [A9] oraz w badaniach diod o różnych barwach [A10] – w tej ostatniej pracy wykorzystywana była również sieć Fostera. W pracach [A5] i [A9], zgodnie z informacją zawartą w artykułach i oświadczeniach współautorów, Habilitant nie brał bezpośredniego udziału w modelowaniu, a jedynie wykorzystywał wyniki modelowania wykonane przez współautorów w opracowywaniu wyników pomiarów tych elementów.

Innym problemem związanym z badaniami optycznych komponentów półprzewodnikowych źródeł światła, rozwiązywanym przez Habilitanta jest wyznaczenie ich parametrów na podstawie pomiarów wielkości elektrycznych, optycznych i termicznych. W pracy [A3] Habilitant przedstawił nową, oryginalną metodę wyznaczenia całkowitego strumienia promieniowania optycznego diody LED mocy na podstawie bilansu mocy doprowadzanej do diody (moc związana z elektrycznym zasilaniem diody) oraz mocy odprowadzanej z diody równej sumie całkowitego strumienia promieniowania optycznego (to jest mocy promieniowania optycznego emitowanego przez diodę) oraz mocy związanej z wydzielanym ciepłem. Aby można było skorzystać z tej metody, konieczna jest znajomość rezystancji termicznej między złączem diody a otoczeniem. Wyznaczana jest ona na podstawie różnicy temperatur między temperaturą złącza diody a temperaturą otoczenia oraz wydzielanej na diodzie mocy w wypadku, kiedy ona nie promieniuje, co ma miejsce, gdy jest ona zasilana w kierunku zaporowym i pracuje w warunkach przebicia. Znajomość tej rezystancji termicznej pozwala na podstawie znajomości różnicy temperatur między temperaturą złącza diody a temperaturą otoczenia określić wartość mocy wydzielanej w postaci ciepła w wypadku, gdy dioda pracuje w kierunku przewodzenia, co z kolei na podstawie bilansu mocy, przy znajomości mocy doprowadzanej do diody, pozwala wyznaczyć wartość strumienia promieniowania optycznego emitowanego przez diodę.

Nową metodę pomiaru całkowitego strumienia promieniowania optycznego emitowanego przez diodę LED Habilitant opisał w pracy [A2]. Zaletą zaproponowanej metody w porównaniu z innymi, znanymi metodami wykorzystującymi sfery integracyjne lub układy goniometryczne jest prostota realizacji i niski koszt urządzeń pomiarowych. W metodzie tej wykonywany jest pomiar irradiancji w zadanej odległości i w kierunku osi emitowanej wiązki promieniowania oraz podawanej przez producenta (np. w notach katalogowych) zależność względnego natężenia promieniowania (lub względnej luminancji energetycznej) w funkcji kąta mierzonego od osi wiązki (kąta obserwacji). Aby uprościć obliczenia związane z całkowaniem po wszystkich kierunkach irradiancji w pełnym kącie bryłowym przy wyznaczaniu całkowitego strumienia promieniowania optycznego na podstawie pomierzonej irradiancji i danego względnego natężenia w funkcji kąta obserwacji, Habilitant przedstawił metodę wykorzystującą aproksymację funkcji względnego natężenia od kąta obserwacji wielomianem kwadratowym, z którego wyznacza średnie natężenie promieniowania w kącie obserwacji od zera do kąta maksymalnego, dla którego natężenie jest większe od zera. Opracowana metoda była również wykorzystana w pracy [A13], poświęconej badaniom właściwości termicznych, fotometrycznych i radiometrycznych wielobarwnych diod LED umieszczonych na wspólnej płycie drukowanej.

Pomiarom parametrów termicznych diod LED mocy poświęcona jest praca [A15]. Habilitant przedstawił w niej dwa oryginalne systemy do pomiaru przejściowej impedancji termicznej diod LED mocy. Wyniki pomiarów z wykorzystaniem tych systemów porównano z wynikami uzyskanymi z wykorzystaniem komercyjnego systemu T3Ster firmy Siemens EDA[®]. Dokładności pomiarów realizowanych przez te systemy są podobne. Zaletą opracowanych systemów, w porównaniu do systemu komercyjnego, jest ich niższa cena oraz możliwość pomiaru mocy promieniowania optycznego bez użycia sfery integrującej, wadą zaś długi czas pomiaru związany z wyznaczaniem mocy promieniowania optycznego oraz niezgodność procedury pomiaru parametrów termicznych z procedurą JEDEC.

Wyniki badań dotyczące problemów odprowadzeniem powstającego ciepła z diod LED mocy przez elektryczne i termiczne pola kontaktowe Habilitant zawarł w pracach [A1, A4, A7, A8, A11, A12 i A16]. Prace te mają duże znaczenie praktyczne w procesie optymalizacji wytwarzania modułów lub płytek drukowanych, na których montowane są te diody. Wyniki badań wpływu technologii lutowania diod LED dużej mocy na odprowadzanie ciepła przedstawiono w pracach [A1, A4, A12], gdzie elektryczne pola kontaktowe pełniły jednocześnie funkcje termicznych pól kontaktowych. W pracach tych przedstawiono wyniki badań parametrów termicznych modułów z diodami LED mocy, do wytworzenia których w procesie montażu wykorzystano cztery różne technologie lutowania: lutowanie w kąpielach lutowniczych [A12], lutowanie konwekcyjne [A1, A4, A12], lutowanie kondensacyjne [A1, A4] oraz próżniowe lutowanie kondensacyjne [A1]. Na podstawie badań wykazano, że w zależności od technologii montażu diod LED mocy do modułu rezystancje termiczne między złączem diody a otoczeniem mogą nawet się różnić więcej niż dwukrotnie [A1]. W pracy [12] pokazano, że przy lutowaniu konwekcyjnym uzyskujemy od kilku do kilkunastu procent (w zależności od składu stopu lutowniczego) mniejszą rezystancję termiczną od rezystancji termicznej uzyskiwanej przy lutowaniu w kąpielach lutowniczych, natomiast w pracy [A4] wykazano, że zastosowanie lutowania kondensacyjnego w wyniku większego pokrycia pozwala obniżyć temperaturę złącza diody LED mocy nawet o około 20 °C w stosunku do temperatury złącza diody lutowanej konwekcyjnie, co przekłada się na czterokrotnie dłuższą żywotność diod LED mocy. Innym aspektem związanym z odprowadzaniem ciepła z diod LED mocy, przebadanym przez Habilitanta, jest dobór pasty lutowniczej [A1] i składu stopu lutowniczego [A8, A12, A16]. Wpływ pasty lutowniczej miał

wpływ na pokrycie stopem lutowniczym elektrycznego pola kontaktowego, a przez to na rezystancję termiczną. Pokazano, że pasta lutownicza o symbolu LFS-216LT daje nieco większe pokrycie niż pasta o symbolu OM338PT (zwłaszcza przy zastosowaniu lutowania kondensacyjnego, gdzie wzrost wynosił około 10%). W pracy [A8] pokazano, że dodanie do stopu SACX0307 (99Sn0.3Ag0.7Cu) cząstek TiO_2 o rozmiarach 200 nm w ilości wagowej 1% zmniejsza o około 15% rezystancję termiczną między złączem diody a otoczeniem przy lutowaniu konwekcyjnym – jednak nie przekłada się to na zauważalne zwiększenie sprawności diody (mieściło się ono w przedziale od -3% do 1%, uwzględniając błędy pomiarowe, względem diody lutowanej stopem bez cząstek TiO_2). Dodanie z kolei w tej samej ilości wagowej cząstek TiO_2 o rozmiarze 20 nm do stopu spowodowało około 1,5% wzrost rezystancji termicznej oraz ponad 20% spadek sprawności. Te nieco zaskakujące zmniejszenie sprawności diody po dodaniu cząstek TiO_2 o rozmiarze 20 nm tłumaczono ich wpływem na zwilżalność stopu lutowniczego. Wyniki badania wpływu zawartości cząstek TiO_2 o rozmiarach 20 nm lub 200 nm w stopie SACX0307 na rezystancję termiczną zawarto również w pracy [A12], gdzie badania wykonano na większej liczbie diod niż w pracy [A8]. W pracy [A12] pokazano, że istotne zmniejszenie rezystancji termicznej dla stopu SACX0307 z cząstkami TiO_2 o rozmiarach 200 nm ma miejsce przy lutowaniu konwekcyjnym (około 15%), natomiast nie występuje przy lutowaniu w kąpeli lutowniczej. W porównaniu z pracą [A8] uzyskano natomiast około 2% wzrost sprawności diody przy wykorzystaniu stopu z cząstkami TiO_2 o rozmiarze 200 nm. Również tutaj pokazano wyniki badań, z których wynika, że po dodaniu do stopu cząstek TiO_2 o rozmiarze 20 nm uzyskuje się większą rezystancję termiczną między złączem diody a otoczeniem i mniejszą sprawność diody. Habilitant przebadał także wpływ dodania cząstek ZnO o rozmiarach 50 nm, 100 nm i 200 nm do tego samego stopu [A16]. Badania pokazały, że cząstki te pozwoliły zmniejszyć grubość warstwy metalicznej w spoinie lutowniczej o około 45%, jednocześnie jednak spowodowały rozdrobnienie cząstek cyny o rząd wielkości, a cząstek Ag_3Sn o około 70%, co sumarycznie zwiększyło rezystancję termiczną o około 10%, oraz kilku lub kilkunastoprocentowe zmniejszenie sprawności diody LED mocy. Mimo tego niekorzystnego wpływu cząstek ZnO na rezystancję termiczną i sprawność, Habilitant ma nadzieję, że parametry te będzie można w przyszłości poprawić przez wzrost zwilżalności spoiny po użyciu wysoce aktywowanych topników.

Wpływ parametrów termicznych pól kontaktowych diod LED mocy niebędących jednocześnie elektrycznymi polami kontaktowymi na impedancję termiczną i sprawność diody zostały przedstawione przez Habilitanta w pracach [A7, A11]. Pokazano, że w wypadku zastosowania płytki drukowanej z metalowym rdzeniem (ang. metal core printed circuit board – MCPCB) do montażu diod LED mocy można uzyskać około 50% mniejszą impedancję termiczną między złączem diody a otoczeniem (a przez to około 100% wzrost efektywności energetycznej) w porównaniu do płytki drukowanej wykonanej z klasycznego laminatu epoksydowego z włóknami szklanymi typu FR-4 [A7]. W pracy [A7] porównano z kolei różnice rezystancji termicznej i sprawności dwóch wybranych typów diody LED mocy (XPLAWT-00-0000-000BV50E3 oraz MCE4WT-A2-0000-JE5 firmy Cree, Inc., USA) w sytuacjach, w których montowane są one na płycie MCPCB z wykorzystaniem termicznych pól kontaktowych oraz kiedy przy montażu nie są one wykorzystywane. Na impedancję i rezystancję termiczną między złączem diody LED a otoczeniem ma również wpływ siła docisku modułu z diodami do radiatora. Wyniki badań z tym związanych zostały przedstawione przez Habilitanta w pracy [A1], gdzie przedstawiono zależności impedancji termicznej w funkcji czasu dla różnych momentów siły działających na śruby dociskające moduły do radiatora (szkoda, że momenty te nie zostały przeliczone na siłę

docisku, ani nie podano w pracy typu lub skoku śruby, aby można było tę siłę samemu wyliczyć). Pokazano tu, że niewłaściwy moment siły docisku modułu LED do radiatora może zwiększyć rezystancję termiczną ponad 10% względem rezystancji uzyskanej przy nominalnym momencie siły.

Poza uwagami merytorycznymi, dotyczącymi osiągnięć naukowych zawartych w przedstawionym cyklu, warto się odnieść do nomenklatury stosowanej przez Habilitanta w artykułach, a także w autoreferacie. Z przykrością należy stwierdzić, że w niektórych miejscach zamiast stosować konsekwentnie ugruntowaną od wielu dziesięcioleci nomenklaturę naukową (związaną z fizyką) lub techniczną Habilitant często tę samą wielkość fizyczną nazywa raz tak, a za innym razem inaczej – nawet w tym samym artykule. Na przykład w pracy [2] symbolem P_v (str. 2 artykułu) oznacza „optical power density”; za chwilę (str. 3) wyjaśnia, że ten symbol oznacza „power of emitted radiation” (zupełnie błędnie, bo równanie (8) traci przy tym sens). Jeszcze innym razem (str. 2) Habilitant stosuje pojęcie „density of emitted power radiation”, do którego również stosuje oznaczenie P_v . Terminem „optical power density” Habilitant posługuje się także w pracy [12]. Niezrozumiałe jest, dlaczego Habilitant nie stosuje tu jednoznacznie zdefiniowanej wielkości radiometrycznej, jaką jest egzytancja energetyczna (ang. radiant exitance) dla strumienia emitowanego promieniowania z jednostki powierzchni lub irradiancji (ang. irradiance albo flux density) dla strumienia przechodzącego przez jednostkową powierzchnię prostopadłą do kierunku przychodzącego promieniowania. Innym, nagminnie występującym błędem jest nazywanie „mocy promieniowania optycznego” (ang. power of optical radiation) żargonowym terminem, jakim jest „moc optyczna” (ang. optical power) (prace [A2, A3, A5, A7, A9–A11, A14–A16]). W optyce termin moc optyczna (tak jak angielski termin optical power) oznacza odwrotność długości ogniskowej soczewki lub zwierciadła optycznego. Na usprawiedliwienie Habilitanta przemawia fakt, że żargonowe określenie moc optyczna (optical power) w znaczeniu mocy promieniowania optycznego jest nagminnie spotykana w literaturze przedmiotu. Podobną krytyczną uwagę można mieć do terminu „optical power flux” [A1] – ugruntowanym w fizyce (jak i w dziedzinie techniki zajmującej się fotometrią i radiometrią) terminem jest „radiant flux”, który powinien być tu wykorzystany. Stosowanie niewłaściwych terminów przez Habilitanta bardzo utrudnia studiowanie jego prac i może prowadzić do nieporozumień. Ponieważ Habilitant bierze czynny udział w procesie kształcenia studentów, stosowanie nieprecyzyjnych terminów może mieć negatywne skutki dydaktyczne. Nie ułatwia również pracy recenzenta powoływanie się na pozycje [B61] (str. 12) i [B62] (str. 13) w Autoreferacie, gdyż tych pozycji nie ma w wykazie literatury.

Przytoczone uwagi natury semantycznej oczywiście w żaden sposób nie umniejszają osiągnięć naukowych, a mają jedynie wyczulić Habilitanta na stosowanie właściwej terminologii, zwłaszcza jeżeli weźmie się pod uwagę, że Habilitant bierze udział w zajęciach dydaktycznych ze studentami.

Przedstawione osiągnięcia naukowe przedstawione w cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych **można uznać, że stanowią znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika** w myśl Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym” (Dz. U. z 2021 r. poz. 478) – art. 219 ust. 1 pkt. 2 lit. b).

3.2. Ocena pozostałego dorobku naukowego, projektowego, konstrukcyjnego lub technologicznego

Poza artykułami wchodzącymi w skład cyklu publikacji przedstawionego w punkcie 3.1, Habilitant jest autorem lub współautorem 17 innych publikacji opublikowanych w czasopiśmie naukowych, w tym 10 po uzyskaniu stopnia doktora. Wśród nich są 4 artykuły, które zostały opublikowane w czasopiśmie z listy Journal Citation Reports (jeden przed uzyskaniem stopnia doktora – w *Microelectronics International*, oraz 3 po uzyskaniu stopnia doktora – w *Microelectronics Reliability*, w *International Journal of Circuit Theory and Applications* oraz w *Energies*). Ponadto Habilitant jest autorem lub współautorem 32 prezentacji na konferencjach krajowych i międzynarodowych, w tym 20 prezentacji po uzyskaniu stopnia doktora. Artykuły i prezentacje zawierają naukowe osiągnięcia Habilitanta z elektroniki – w większości z optoelektroniki.

Habilitant jest też współautorem trzech rozdziałów w monografiach naukowych, opublikowanych po uzyskaniu stopnia naukowego. Wszystkie one dotyczą badań nad diodami LED mocy.

Pełny wykaz powyższych artykułów, wystąpień konferencyjnych oraz rozdziałów w monografiach naukowych został zamieszczony w „Wykazie osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny”.

Ogólny dorobek bibliometryczny Habilitanta w zakresie cytowań wynosi: 219 (w tym 69 bez autocytowań, wg bazy Web of Science, 253 (80) wg bazy Scopus oraz 276 wg bazy Google Scholar. Index Hirscha we wszystkich trzech bazach wynosi 10. Niepokojącym wskaźnikiem jest bardzo duża liczba autocytowań – **autocytowania przekraczają 68% wszystkich cytowań**.

Habilitant jest także współautorem krajowego patentu: Górecki K., Ptak P., „Sposób i układ do pomiaru rezystancji termicznej i mocy promieniowania optycznego diody LED mocy”, patent RP nr 234140 przyznany przez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej dnia 29.12.2017 roku.

Do pozostałego dorobku naukowego Habilitanta należy zaliczyć udział w grantach naukowych realizowanych we współpracy z zewnętrznymi instytucjami naukowymi: w grantie pt. „Badanie właściwości cieplnych i optycznych diod LED i modułów LED mocy”; badania prowadzone wspólnie z Katedrą Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej w latach 2019-2021 – w grantie tym Habilitant był wykonawcą, oraz w grantie realizowanym w programie „Regionalna Inicjatywa Doskonałości”; badania naukowe dotyczą domieszkania bezołowiowych stopów lutowniczych i są prowadzone wspólnie z Siecią Badawczą Łukasiewicz – Instytut Technologii Elektronowej w latach 2020–2022 – w grantie tym Habilitant jest kierownikiem.

Habilitant był kierownikiem lub wykonawcą w 4 grantach finansowanych w drodze konkursów krajowych: jako kierownik grantu Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości o numerze 8/2019/2.3.2/konkurs nr1/2019 „Opracowanie innowacyjnej niezależnej od sieci energetycznej, mobilnej stacji ładowania pojazdów elektrycznych wraz z modułem sterowania online”, jako wykonawca w Diamentowym Grantie o numerze DI 2015 0075 45, „Modelowanie właściwości elektrycznych i cieplnych tranzystorów IGBT oraz modułów elektroizolowanych z tymi tranzystorami”, jako wykonawca w grantie NCBiR o numerze DOB-

BI02/PS/5/2/2016: „Badania i symulacje skutków oddziaływania impulsów HPM” oraz jako wykonawca w projekcie NCBiR o numerze POIR.01.02.00-00-0005/18 „Zintegrowany system modelowania oraz graficznego projektowania instalacji elektrycznych na statkach”.

Habilitant brał także udział w 12 grantach Uniwersytetu Morskiego w Gdyni, w tym w 8 po uzyskaniu stopnia doktora (wykaz tych grantów i pełnione funkcje został zamieszczony w „Wykazie osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny”).

Przedstawione osiągnięcia pozostałego dorobku naukowego są istotne.

4. Ocena aktywności naukowej

Do osiągnięć dotyczących aktywności naukowej Habilitanta realizowanej we współpracy z uczelniami i instytucjami naukowymi poza Uniwersytetem Morskim w Gdyni można zaliczyć:

1. prowadzenie wspólnych grantów z zewnętrznymi uczelniami i instytucjami naukowymi:
 - 1) z Katedrą Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej w latach 2019–2021, w którym Habilitant **był wykonawcą grantu**, prowadzonego w ramach projektu pt. „Badanie właściwości cieplnych i optycznych diod LED i modułów LED mocy” programu „Regionalna Inicjatywa Doskonałości”,
 - 2) z Siecią Badawczą Łukasiewicz – Instytut Technologii Elektronowej w latach 2020–2022, w którym Habilitant **jest kierownikiem grantu**, prowadzonego w ramach projektu realizowanego w programie „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” – badania naukowe dotyczą domieszkowania bezołowiowych stopów lutowniczych.
2. współpracę Habilitanta z Katedrą Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej,
3. wspólne publikacje z pracownikami Katedry Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej,
4. wspólną publikację w czasopiśmie *Nanomaterials* z pracownikami Budapest University of Technology and Economics, Department of Electronics Technology oraz Akademii Górniczo-Hutniczej, Katedra Fizyki Materii Skondensowanej.

Poza realizowanym wspólnie grantem badawczym, rezultatem współpracy Habilitanta z Katedrą Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej jest odbyty tam staż w okresie od 15.07.2019 r. do 21.11.2019 r. (łącznie 8 tygodni). Staż ten odbył się w ramach grantu na średniookresowy wyjazd badawczy do krajowego ośrodka badawczego finansowanego w ramach projektu „Rozwój bazy badawczej i dorobku naukowego pracowników Wydziału Elektrycznego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni” realizowanego w Uniwersytecie Morskim w Gdyni w programie projektu „Regionalna Inicjatywa Doskonałości”. Efektem realizacji grantu jest wspólny artykuł naukowy Habilitanta z pracownikami Katedry Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej [A11]. Poza wspomnianym artykułem [A11], Habilitanta w ramach współpracy z Katedrą Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej opublikował wspólnie z pracownikami tej katedry cztery inne artykuły [A5, A9, A10 i A15]; wspólnie z nimi ma także sześć publikacji w materiałach konferencji międzynarodowych.

Do aktywności naukowej Habilitanta można również zaliczyć:

5. członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopisma Applied Sciences, gdzie od zeszłego roku pełni funkcję „Editorial Board Member”; w czasopiśmie tym pełnił również funkcję Guest Editor numeru specjalnego pt. „Advanced power devices and power systems”, wydawnictwo MDPI, 2021 r.
6. recenzje 28 artykułów, w tym 15 w czasopismach z listy JCR.
7. udział w licznych projektach i grantach badawczych realizowanych na Wydziale Elektrycznym Uniwersytetu Morskiego w Gdyni – pełny ich wykaz został zamieszczony w „Wykazie osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny”.

Biorąc pod uwagę wspólne z Siecią Badawczą Łukasiewicz – Instytut Technologii Elektrownowej prowadzenie grantu naukowego oraz omówioną powyżej współpracę z Katedrą Mikroelektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Łódzkiej, zdaniem recenzenta Habilitant **spełnia kryteria dotyczące aktywności naukowej** w myśl Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym” (Dz. U. z 2021 r. poz. 478) – art. 219 ust. 1 pkt. 3.

5. Inne osiągnięcia, w tym osiągnięcia dydaktyczne i organizacyjne oraz nagrody

Jako nauczyciel akademicki Habilitant ma szereg osiągnięć dydaktycznych. Do tych osiągnięć można zaliczyć opracowanie i prowadzenie szeregu wykładów, laboratoriów lub zajęć projektowych dla studentów pierwszego i drugiego stopnia na kierunku elektronika i telekomunikacja oraz kierunku informatyka, w tym pięciu wykładów. Pełen wykaz tych przedmiotów zawarty jest w Autoreferacie.

Do osiągnięć dydaktycznych Habilitanta można również zaliczyć opracowanie skryptu P. Ptak: „Architektura urządzeń mobilnych”, Wydawnictwo UMG, Gdynia, 2021. Był on również opiekunem studentów praktyk morskich, a także 7 prac dyplomowych inżynierskich i 3 magisterskich. Był również recenzentem 11 prac dyplomowych inżynierskich i 1 magisterskiej. Habilitant był także członkiem Komisji ds. zmiany programu studiów II stopnia na kierunku Elektronika i Telekomunikacja oraz jest członkiem Komisji ds. Programów Studiów dla kierunku Informatyka na Wydziale Elektrycznym.

Do organizacyjnych osiągnięć Habilitanta można zaliczyć współpracę z otoczeniem gospodarczym. Habilitant współpracuje z firmą Pol-Spec-Tech-Service Sp. z o.o. przy projekcie: „Metody i sposoby ochrony i obrony przed impulsami HPM” w ramach programu: „Nowe systemy uzbrojenia i obrony w zakresie energii skierowanej”, realizowanego na rzecz bezpieczeństwa i obronności państwa w ramach konkursu o numerze DOB-1-3/1/PS/2014 oraz z firmą Domat Consulting przy projekcie: „Opracowanie innowacyjnej niezależnej od sieci energetycznej, mobilnej stacji ładowania pojazdów elektrycznych wraz z modułem sterowania online” realizowanego w ramach programu „Bony na innowacje” MŚP o numerze 8/2019/2.3.2/konkurs nr 1/2019, współfinansowanego przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości.

Do działalności organizacyjnej Habilitanta można zaliczyć również członkostwo w Radzie Wydziału Elektrycznego AMG, w Radzie Naukowej Wydziału Elektrycznego UMG, w uczelnianym Zespole ds. Opracowania Nowej Oferty Badawczej i Wdrożeniowej UMG, oraz w Komitecie Organizacyjnym Krajowej Konferencji Elektroniki KKE od 2021.

Za swoje osiągnięcia naukowe, dydaktyczne i organizacyjne Habilitant uzyskał wiele cennych nagród. Do nich należą: Nagroda zespołowa Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej za znaczące osiągnięcia w zakresie działalności naukowej (2020), Stypendium Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej za wybitne osiągnięcia dla doktorantów (2016). Habilitant również otrzymał po dwie Indywidualne Nagrody Rektora AMG i UMG za osiągnięcia naukowe i dydaktyczne oraz liczne premie lub stypendia, w tym premie lub stypendia Rektora AMG i UMG, trzy stypendia dla doktora przygotowującego się do wszczęcia postępowania habilitacyjnego w ramach programu Regionalna Inicjatywa Doskonałości, a także dwie premie Dziekana Wydziału Elektrycznego za osiągnięcia naukowe i dydaktyczne AMG. Pełen wykaz nagród, stypendiów i premii zawarty jest w Autoreferacie.

6. Konkluzja

Biorąc pod uwagę posiadany stopień doktora, pozytywną ocenę przedstawionego wyżej dorobku naukowego oraz aktywności naukowej, stwierdzam, że dr inż. Przemysław Ptak **spełnia wszystkie wymagania** Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym” (Dz. U. z 2021 r. poz. 478) do uzyskania stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika. Wnoszę zatem o dopuszczenie dra inż. Przemysław Ptak do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

