

Dr hab. inż. Kazimierz Drabczyk
prof. uczelni
Uniwersytet Bielsko-Bialski

Wasze pismo z dnia:	Znak:	Nasz znak:	Data:
2025.12.19	Uchwała nr 139/III/2025	---	2026.02.16

RECENZJA

w postępowaniu habilitacyjnym

Pana dr inż. Mirosława Jakuba Kruszewskiego

Zgodnie z uchwałą nr 139/III/2025 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria

Materiałowa Politechniki Warszawskiej

z dnia 19 grudnia 2025 roku

Recenzja dotyczy **osiągnięcia naukowego** oraz dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego przedstawionego do oceny w postępowaniu habilitacyjnym przez doktora Mirosława Jakuba Kruszewskiego. Recenzję sporządzono **w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno – technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa** na podstawie uchwały nr 139/III/2025 z dnia 19 grudnia 2025 roku.



SYLWETKA KANDYDATA

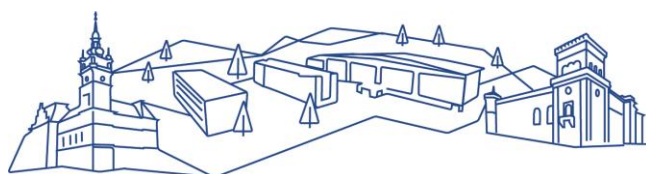
Mirostław Jakub Kruszewski jest doktorem nauk technicznych, specjalizującym się w inżynierii materiałowej, ze szczególnym uwzględnieniem materiałów kompozytowych o wysokiej przewodności cieplnej, technologii spiekania oraz materiałów funkcjonalnych przeznaczonych do zastosowań zaawansowanych, w tym energetyki i technologii fuzyjnych.

Wykształcenie wyższe uzyskał na **Politechnice Warszawskiej**, na **Wydziale Inżynierii Materiałowej**, gdzie w 2008 roku ukończył studia magisterskie, uzyskując tytuł magistra inżyniera. Tematyka jego pracy magisterskiej dotyczyła opracowania warunków łączenia kompozytu węglowego z miedzią metodą spiekania impulsowo-plazmowego pod kątem zastosowania w reaktorze fuzyjnym, co już na wczesnym etapie kariery wskazywało na ukierunkowanie badawcze związane z nowoczesnymi materiałami dla energetyki i technologii wysokotemperaturowych.

Stopień **doktora nauk technicznych** uzyskał w 2015 roku również na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej. Rozprawa doktorska pt. „*Kształtowanie mikrostruktury i właściwości cieplnych spieków kompozytowych miedź–diament*” koncentrowała się na zagadnieniach projektowania mikrostruktury kompozytów metalowo-ceramicznych oraz optymalizacji ich właściwości cieplnych, istotnych z punktu widzenia zastosowań w elementach odprowadzających ciepło oraz w systemach pracujących w warunkach ekstremalnych.

Przebieg kariery zawodowej doktora Kruszewskiego jest ściśle związany z Politechniką Warszawską. Od 2016 roku realizował działalność badawczo-techniczną w **Uczelnianym Centrum Badawczym „Materiały Funkcjonalne”**, początkowo na stanowisku technologa, a następnie starszego technologa. Doświadczenie to umożliwiło mu pogłębienie kompetencji w zakresie praktycznych aspektów wytwarzania i charakteryzacji materiałów zaawansowanych.

W latach 2020–2024 pełnił funkcję **adiunkta badawczego** w Uczelnianym Centrum Badawczym „Materiały Funkcjonalne” Politechniki Warszawskiej, równoległe pracując jako **specjalista naukowo-techniczny**. W tym okresie prowadził i współrealizował prace badawcze z zakresu inżynierii materiałowej, technologii proszków, spiekania oraz



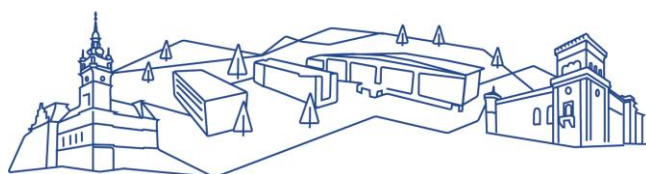
projektowania materiałów funkcjonalnych, łącząc działalność naukową z zaawansowaną pracą laboratoryjną i wdrożeniową.

Od grudnia 2024 roku doktor Mirosław Jakub Kruszewski jest zatrudniony na stanowisku **adiunkta badawczego** oraz **specjalisty naukowo-technicznego** na **Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej**, kontynuując działalność naukową i badawczo-rozwojową w obszarze nowoczesnych materiałów inżynierskich.

TEMATYKA BADAWCZA

Tematyka badawcza przedstawiona w autoreferacie dr. Mirosława Jakuba Kruszewskiego jest spójna, jasno zdefiniowana i konsekwentnie rozwijana, a jej osią stanowią materiały termoelektryczne na bazie skutterudytu CoSb_3 , projektowane z myślą o zastosowaniach w modułach termoelektrycznych pracujących w podwyższonych temperaturach.

Cykl publikacji obejmuje pełne spektrum zagadnień – od metod syntezy i konsolidacji, poprzez kontrolę mikrostruktury i właściwości transportowych, aż po analizę stabilności wysokotemperaturowej i trwałości. **Szczególnie istotnym elementem dorobku jest opracowanie i zastosowanie szybkiej, energooszczędnej i potencjalnie skalowalnej ścieżki technologicznej opartej na połączeniu samopodtrzymującej się syntezy wysokotemperaturowej (SHS) oraz spiekania impulsowo-plazmowego (PPS)**, która pozwala na istotne skrócenie czasu wytwarzania materiałów przy zachowaniu ich wysokiej jednorodności chemicznej i fazowej. Autor w sposób systematyczny analizuje wpływ domieszkowania selenem i tellurem na strukturę krystaliczną, mikrostrukturę i właściwości termoelektryczne, uzyskując wartości współczynnika ZT porównywalne (lub przewyższające) z wynikami raportowanymi dla materiałów otrzymywanych metodami klasycznymi. Istotnym i oryginalnym wkładem metodologicznym jest również wprowadzenie szczegółowej analizy jednorodności funkcjonalnej materiałów, realizowanej poprzez mapowanie powierzchniowego rozkładu współczynnika Seebecka, co pozwala na bezpośrednie powiązanie cech mikrostrukturalnych z lokalnymi właściwościami transportowymi. W mojej ocenie **świadczy to o dużej wiedzy w temacie oraz jasnej wizji prowadzonych badań.**



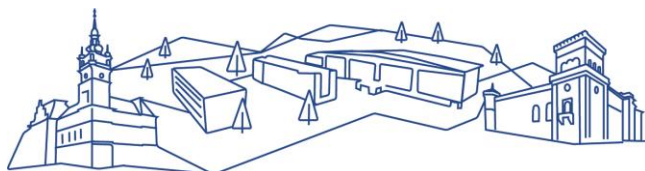
Ponadto, przedstawiona tematyka jest aktualna i ma znaczenie praktyczne. Materiały termoelektryczne są obecnie intensywnie badane w kontekście odzysku ciepła odpadowego oraz poprawy efektywności energetycznej systemów przemysłowych. Jednak ich szersze wdrożenie ograniczają bariery technologiczne, takie jak czasochłonność procesów wytwarzania, ograniczona trwałość wysokotemperaturowa oraz degradacja złączy materiałowych. Prace doktora Kruszewskiego w sposób bezpośredni odnoszą się do tych problemów poprzez badania odporności skutterudytów na utlenianie i sublimację, a także poprzez opracowanie i eksperymentalną weryfikację autorskich barier dyfuzyjnych zwiększających stabilność interfejsów w modułach termoelektrycznych. Szczególnie cennym elementem dorobku jest przejście od badań materiałowych do zagadnień konstrukcyjnych, obejmujących projektowanie i ocenę segmentowanych nóżek termoelektrycznych oraz demonstrację prototypowych rozwiązań. **Takie podejście świadczy o dojrzałości naukowej habilitanta i umiejętnym łączeniu badań podstawowych z aplikacyjnymi**, a uzyskane wyniki mają potencjał realnego wykorzystania w technologiach odzysku energii cieplnej w przemyśle, energetyce oraz systemach pracujących w warunkach podwyższonej temperatury.

OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE

Przedstawione przez doktora **Mirośława Jakuba Kruszewskiego** osiągnięcie stanowiące podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego (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. zwanej dalej ustawą) to cykl powiązanych tematycznie 8 artykułów naukowych oraz 5 zrealizowanych oryginalnych osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych, technologicznych.

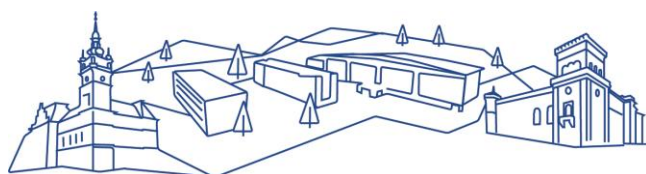
Jako tytuł osiągnięcia doktor Kruszewski podał:

„Synteza i właściwości materiałów termoelektrycznych na bazie CoSb₃ do zastosowań w modułach termoelektrycznych”



CYKL, POWIĄZANYCH TEMATYCZNIE, ARTYKUŁÓW NAUKOWYCH

- P1.M.J. Kruszewski**, R. Zybata, Ł. Ciupiński, M. Chmielewski, B. Adamczyk-Cieślak, A. Michalski, M. Rajska, K.J. Kurzydłowski, Microstructure and thermoelectric properties of bulk cobalt antimonide (CoSb₃) skutterudites obtained by pulse plasma sintering, *J. Electron. Mater.* 45 (2016) 1369–1376. <https://doi.org/10.1007/s11664-015-4037-5>, IF: 1,579, MNiSW: 40 pkt.
- P2.P. Nieroda**, J. Leszczyński, A. Mikuta, K. Mars, **M.J. Kruszewski**, A. Koleżyński, Thermoelectric properties of Cu₂S obtained by high temperature synthesis and sintered by IHP method, *Ceram. Int.* 46 (2020) 25460–25466. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.07.016>, IF: 4,527, MNiSW: 100 pkt.
- P3.M.J. Kruszewski**, K. Cymerman, R. Zybata, M. Chmielewski, M. Kowalczyk, J. Zdunek, Ł. Ciupiński, High homogeneity and ultralow lattice thermal conductivity in Se/Te-doped skutterudites obtained by self-propagating high-temperature synthesis and pulse plasma sintering, *J. Alloys Compd.* 909 (2022) 164796. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.164796>, IF: 6,2, MNiSW: 100 pkt.
- P4.M.J. Kruszewski**, M. Kot, K. Cymerman, M. Chmielewski, D. Moszczyńska, M. Matek, Ł. Ciupiński, Rapid fabrication of Se-modified skutterudites obtained via selfpropagating high-temperature synthesis and pulse plasma sintering route, *Ceram. Int.* 49 (2023) 9560–9565. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.11.124>, IF: 5,1, MNiSW: 100 pkt.
- P5.P. Nieroda**, **M.J. Kruszewski**, J. Leszczyński, K. Mars, A. Koleżyński, Influence of DC and AC current in the SPS sintering process on homogeneity of thermoelectric properties of Cu₂S and Cu₂Se, *Ceram. Int.* 49 (2023) 9681–9690. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.11.139>, IF: 5,1, MNiSW: 100 pkt.
- P6.M.J. Kruszewski**, K. Cymerman, E. Choińska, D. Moszczyńska, Ł. Ciupiński, A comparative study of oxidation behavior of Co₄Sb₁₂ and Co₄Sb_{10.8}Se_{0.6}Te_{0.6} skutterudite thermoelectric materials fabricated via fast SHS-PPS route, *J. Eur. Ceram. Soc.* (2024) 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2024.01.044>, IF: 5,8, MNiSW: 140 pkt.
- P7.M.J. Kruszewski**, K. Cymerman, J. Flaga, Ł. Ciupiński, Metallurgical Aspects of Joint Formation Between Diffusion Barriers and a Skutterudite Thermoelectric Material,



Metall. Mater. Trans. A (2025). <https://doi.org/10.1007/s11661-024-07682-4>, IF: 2,2, MNiSW 200 pkt.

P8.M.J. Kruszewski, Thermal and Interfacial Stability of PPS-Fabricated Segmented Skutterudite Legs for Thermoelectric Applications, *Materials (Basel)*. 18 (2025) 2923. <https://doi.org/10.3390/ma18132923>, IF: 3,1, MNiSW: 140 pkt

Przedstawione publikacje są powiązane tematycznie ze sobą w ten sposób, iż odnoszą się do szeroko pojętej inżynierii materiałowej w obszarze syntezy i opisu właściwości materiałów termoelektrycznych, którymi w swoich badaniach zajmował się habilitant.

W odniesieniu do cyklu **8 publikacji** warto podkreślić, że Habilitant był **pierwszym autorem w 6 przedstawionych artykułach**. Ukazały się one w recenzowanych czasopismach o wysokiej punktacji na liście MEiN w tak uznanych periodykach jak: *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, *Materials*, *Journal of the European Ceramic Society* czy *Ceramics International*.

Habilitant przedstawił oświadczenia współautorów z których każdy określił jaki miał wkład w powstanie wyżej wymienionych prac. Wkład doktora Kruszewskiego w powstanie publikacji z cyklu uważam za znaczący.

Tematyka publikacji

Przedstawiony cykl publikacji stanowi konsekwentnie realizowany program badawczy ukierunkowany na opracowanie szybkich, energooszczędnych i skalowalnych metod wytwarzania wysokoefektywnych materiałów termoelektrycznych na bazie skutterudytów oraz wybranych związków pokrewnych. Wspólnym mianownikiem wszystkich prac jest integracja zaawansowanych metod syntezy proszków z technikami szybkiej konsolidacji, a następnie powiązanie uzyskanej mikrostruktury z właściwościami transportowymi oraz stabilnością eksploatacyjną materiałów. Cykl obejmuje zarówno badania podstawowe nad mechanizmami transportu i rozpraszania fononów, jak i zagadnienia aplikacyjne związane z trwałością materiałów i ich integracją w modułach termoelektrycznych.



Prace zawarte w cyklu ułożone są w sposób chronologiczny co pozwala na zrozumienie kolejnych etapów badań.

Pierwszym etapem badań było wykazanie możliwości zastosowania techniki *Pulse Plasma Sintering* (PPS) do konsolidacji objętościowego CoSb_3 . W pracy opublikowanej w *Journal of Electronic Materials* wykazano, że bardzo krótki czas spiekania, rzędu kilku minut, umożliwia uzyskanie materiału o gęstości bliskiej teoretycznej przy zachowaniu drobnoziarnistej mikrostruktury i wysokiej czystości fazowej. Badania te miały istotne znaczenie metodologiczne, ponieważ wprowadziły PPS jako alternatywę dla klasycznego *hot pressingu* i *spark plasma sintering*, oferując skrócenie czasu procesu oraz ograniczenie degradacji składu chemicznego wynikającej z długotrwałej obróbki cieplnej. Wykazano również wpływ parametrów spiekania na ułatwienie antymonu oraz stabilność fazową, co stanowiło podstawę do dalszych prac nad modyfikowanymi skutterudydami.

Kolejne badania skoncentrowano na opracowaniu szybkich metod syntezy proszków skutterudytowych, w tym techniki *pulse plasma in liquid*. Zastosowanie wyładowań plazmowych w cieczy umożliwiło wytworzenie nanostrukturalnych proszków CoSb_3 o wysokiej jednorodności chemicznej. Wykazano, że kontrolowana nanostrukturyzacja prowadzi do zwiększenia rozpraszania fononów i stwarza potencjał do obniżenia przewodności sieciowej bez istotnego pogorszenia przewodnictwa elektrycznego. Rozwinięciem tych badań była analiza domieszkowanych układów CoSb_3 z dodatkiem telluru oraz indu, gdzie wykazano synergiczny wpływ domieszkowania elektronowego oraz wypełniania pustek strukturalnych na poprawę współczynnika mocy i ograniczenie transportu ciepłego.

Przełomowym elementem cyklu była praca opublikowana w *Journal of Alloys and Compounds*, w której zaproponowano połączenie samorzutnej syntezy wysokotemperaturowej (SHS) z konsolidacją metodą PPS jako ultraszybkiej ścieżki technologicznej wytwarzania Se/Te-domieszkowanych skutterudydów. Zastosowanie tej zintegrowanej metody umożliwiło otrzymanie materiałów o bardzo wysokiej jednorodności chemicznej przy radykalnym skróceniu czasu procesu. Jednoczesne domieszkowanie selenem i tellurem doprowadziło do wzmocnienia mechanizmów rozpraszania punktowego oraz oddziaływań elektron–fonon, co skutkowało uzyskaniem

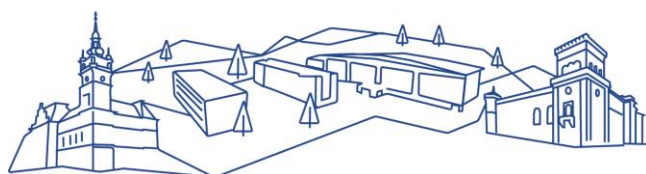


ultraniskiej przewodności sieciowej rzędu $0,86 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. W efekcie osiągnięto wartość parametru ZT równą 1,1 przy 723 K, Uzyskane wyniki pokazały, że połączenie metod SHS i PPS umożliwia wytwarzanie chemicznie jednorodnych i wysokoefektywnych materiałów termoelektrycznych, a także oferuje liczne korzyści, takie jak oszczędność czasu i energii oraz potencjalną skalowalność procesu do produkcji wielkoseryjnej.

Istotnym uzupełnieniem badań nad właściwościami transportowymi były analizy stabilności materiałów w warunkach podwyższonej temperatury i atmosfery utleniającej. W pracy opublikowanej w *Journal of the European Ceramic Society* przeprowadzono porównawcze badania utleniania czystego $\text{Co}_4\text{Sb}_{12}$ oraz $\text{Co}_4\text{Sb}_{10.8}\text{Se}_{0.6}\text{Te}_{0.6}$ w temperaturze 773 K w czasie do 500 godzin. Wykazano, że domieszkowanie zmienia mechanizm utleniania, wpływając na rolę faz Sb_2O_4 oraz faz typu CoSb_2 w strefie przypowierzchniowej. Pomimo zmian w warstwie tlenkowej nie stwierdzono istotnego wzrostu ziarna ani degradacji właściwości elektrycznych, co potwierdza użyteczność opracowanych materiałów w warunkach długotrwałej eksploatacji.

Kolejnym krokiem było rozszerzenie badań na zagadnienia integracji materiałów termoelektrycznych w strukturach modułowych. W pracy opublikowanej w *Metallurgical and Materials Transactions A* przeanalizowano aspekty metalurgiczne tworzenia złączy pomiędzy skutterudytem a barierami dyfuzyjnymi. Zidentyfikowano reakcje międzyfazowe, procesy dyfuzji oraz warunki zapewniające stabilność połączeń w podwyższonej temperaturze. Wyniki te mają charakter wyraźnie aplikacyjny, ponieważ rozwiązują jeden z kluczowych problemów ograniczających trwałość modułów termoelektrycznych.

Całość cyklu dopełnia praca przeglądowa poświęcona szybkim metodom wytwarzania skutterudyków, w której dokonano systematyzacji technik takich jak SHS, PPS, *melt spinning*, selektywne przetapianie laserowe czy atomizacja gazowa. Analiza ta ma charakter koncepcyjny i stanowi teoretyczne podsumowanie oraz uzasadnienie przyjętej strategii badawczej, wskazując na przewagi technologiczne metod skróconych w kontekście efektywności energetycznej i możliwości skalowania produkcji.



Podsumowując, przedstawiony cykl publikacji tworzy spójny program badawczy obejmujący pełny łańcuch zagadnień – od syntezy proszków i konsolidacji, przez inżynierię defektów i analizę transportu, po badania trwałości i integrację modułową. Opracowano skrócone i energooszczędne rozwiązania technologiczne oraz wykazano stabilność materiałów w warunkach eksploatacyjnych. Wkład naukowy cyklu polega zarówno na rozwoju metod wytwarzania, jak i na pogłębieniu rozumienia mechanizmów odpowiedzialnych za sprzężenie mikrostruktury z właściwościami termoelektrycznymi. Prace te mają wyraźny potencjał aplikacyjny i stanowią istotny wkład w rozwój technologii materiałów termoelektrycznych przeznaczonych do zastosowań średniotemperaturowych.

Ponadto, szczególnie wartościowe są te wyniki, które pozwoliły na uzyskanie patentów oraz przygotowanie zgłoszeń patentowych.

Doktor Kruszewski jest autorem w **2 uzyskanych patentach:**

1. Patent PAT.229005: „Mieszanka proszku miedzi i diamentu, zwłaszcza do wytwarzania materiałów kompozytowych oraz zastosowanie alkoholu izopropylowego do wytwarzania mieszanki proszku miedzi i diamentu”, udzielenie patentu 08.12.2017 r., **M.J. Kruszewski** (50%), Ł. Ciupiński (30%), K. Kurzydłowski (20%).
2. Patent PAT.239106: „Sposób wytwarzania modułów termoelektrycznych w jednoetapowym procesie łączenia elementów przy wykorzystaniu techniki spiekania FAST/SPS i urządzenie realizujące ten sposób”, udzielenie patentu: 08.11.2021 r., R. Zybata (51%), K. Kaszyca (10%), R. Zieliński (10%), M. Schmidt (9%), M. Chmielewski (5%), **M.J. Kruszewski** (5%), Ł. Ciupiński (5%), K. Pietrzak (5%).

Jednak bardziej istotne według mnie jest to, iż jest wiodącym autorem z największym udziałem (50%) w kolejnych 4 zgłoszeniach patentowych z 2024 roku.

1. Zgłoszenie patentowe P.447876: „Materiał bariery dyfuzyjnej zawierający metaliczny wolfram, sposób wytwarzania bariery dyfuzyjnej, moduł termoelektryczny oraz sposób wytwarzania modułu termoelektrycznego”, data zgłoszenia: 28.02.2024 r., **M.J. Kruszewski** (50%), K. Cymerman (25%), J. Flaga (25%).
2. Zgłoszenie patentowe P.447877: „Materiał bariery dyfuzyjnej zawierający metaliczny chrom, sposób wytwarzania bariery dyfuzyjnej, moduł termoelektryczny oraz sposób wytwarzania modułu termoelektrycznego”, data zgłoszenia: 28.02.2024 r., **M.J. Kruszewski** (50%), K. Cymerman (25%), J. Flaga (25%).
3. Zgłoszenie patentowe P.448897: „Moduł termoelektryczny oraz sposób wytwarzania modułu termoelektrycznego”, data zgłoszenia: 20.06.2024 r., **M.J. Kruszewski** (50%), K. Cymerman (25%), J. Flaga (25%).



4. Zgłoszenie patentowe P.448898: „Moduł termoelektryczny oraz sposób wytwarzania modułu termoelektrycznego”, data zgłoszenia: 20.06.2024 r., **M.J. Kruszewski** (50%), K. Cymerman (25%), J. Flaga (25%).

Jako osiągnięcie kandydat podał także osiągnięcia projektowe i konstrukcyjne.

Oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne

OP1. Prototyp prostego modułu termoelektrycznego (projekty LIDER i SONATA)

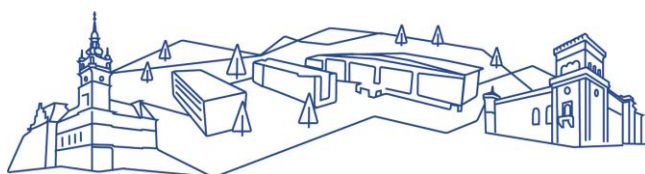
Opracowano i wykonano funkcjonalny prototyp prostego modułu termoelektrycznego (para termoelektryczna) z wykorzystaniem materiałów własnej syntezy, opracowanych w ramach projektów SONATA i LIDER. Konstrukcja modułu została zoptymalizowana na podstawie modelowania numerycznego rozkładu naprężeń w układzie warstwowym. Prototyp został przestany do partnera zagranicznego (Francja) celem przeprowadzenia szczegółowych testów laboratoryjnych, obejmujących charakterystyki prądowo-napięciowe, współczynnik sprawności ZT oraz wydajność konwersji energii. Technologia jest obecnie na etapie walidacji w środowisku laboratoryjnym zbliżonym do operacyjnego (TRL 5–6).

OP2. Stanowisko do lutowania indukcyjnego w atmosferze ochronnej (projekt LIDER)

W ramach projektu LIDER opracowano zmodyfikowane stanowisko do lutowania indukcyjnego w osłonie gazu obojętnego lub w próżni. Stanowisko zostało zaadaptowane z istniejącego systemu lutowniczego, wzbogacone o autorski układ kwarcowy i system próżniowy do kontroli atmosfery procesu. Rozwiązanie umożliwia precyzyjne i kontrolowane łączenie elementów modułów i struktur termoelektrycznych. Skuteczność stanowiska potwierdzono w testach na modelowych strukturach (płytki) oraz przy lutowaniu warstw prototypu termoelektrycznego. Stanowisko osiągnęło poziom demonstracji technologii w warunkach zbliżonych do operacyjnych (TRL 6).

OP3. Bariery dyfuzyjne na bazie Co-W, Co-Cr, Co-Ni-W i Co-Ni-Cr (projekt LIDER)

W ramach projektu LIDER opracowano cztery warianty barier dyfuzyjnych na bazie kobaltu (Co-W, Co-Cr, Co-Ni-W i Co-Ni-Cr) przeznaczone do zastosowań w strukturach modułów termoelektrycznych. Bariery zostały wytworzone z wykorzystaniem technologii spiekania PPS, a ich skuteczność zweryfikowano w warunkach przyspieszonych testów stabilności (wygrzewanie przez 7 dni w 500°C). Testy potwierdziły ich trwałość i skuteczność ograniczania dyfuzji przy zachowaniu integralności warstw. Zgłoszono cztery patenty obejmujące skład chemiczny oraz zastosowanie barier w modułach termoelektrycznych. Technologia znajduje się na etapie laboratoryjnej walidacji funkcjonalnej (TRL 5).



OP4. Modyfikacja układu ignitronu w systemie PPS

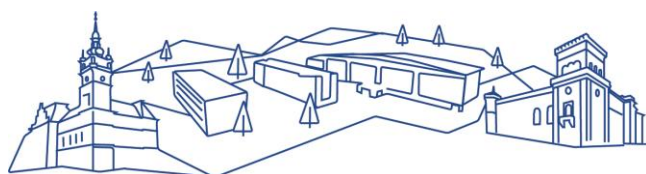
W ramach prac nad poprawą niezawodności i trwałości urządzeń do impulsowego spiekania plazmowego (PPS), dokonano istotnej modyfikacji podzespołu systemu transferu energii — układu ignitronowego. Opracowano nową konstrukcję elektrod oraz układ wydechowy, umożliwiające uzyskanie ponad dwukrotnego wzrostu liczby impulsów możliwych do wykonania w jednym cyklu serwisowym, redukcję nierównomiernego zużycia oraz zwiększenie stabilności pracy układu w warunkach niskonapięciowych (<2 kV). Rozwiązanie opracowane autorsko przez wnioskodawcę i jego zespół wdrożono w warunkach laboratoryjnych i odpowiadającym zastosowaniom przemysłowym, przetestowano na szerokiej gamie materiałów (316L, Mg-Li, Cu-diamant, skutterudyty). Modyfikacja zwiększyła funkcjonalność urządzenia bez zawężania zakresu zastosowań. Technologia znajduje się na poziomie TRL 6–7.

OP5. Skalowanie procesu PPS do większych wymiarów i liczby próbek

W ramach działań zmierzających do zwiększenia wydajności i zakresu zastosowań technologii PPS, przeprowadzono z sukcesem skalowanie procesu zarówno pod względem wymiarów próbek (z 10–20 mm do 40–50 mm średnicy), jak i liczby próbek spiekanych równocześnie (z jednej do czterech). Wymagało to opracowania nowej geometrii grafitowych stempli i matryc oraz przeprowadzenia obliczeń wytrzymałościowych i termicznych, które zapewniły bezpieczeństwo operacyjne przy zwiększonym obciążeniu mechanicznym i cieplnym. Rozkłady temperatury i gęstości prądu analizowano numerycznie w celu uniknięcia lokalnych niejednorodności. Efektywność rozwiązania potwierdzono doświadczalnie — próbki skalowane charakteryzowały się identyczną gęstością i jakością jak próbki wzorcowe. Przetestowano je m.in. w procesie konsolidacji barier dyfuzyjnych. Technologia osiągnęła poziom TRL 6–7.

Przedstawione osiągnięcia konstrukcyjne wpisują się w spójny program rozwoju materiałów i technologii termoelektrycznych, obejmujący zarówno projektowanie materiałów funkcjonalnych, inżynierię interfejsów, **jak i rozwój infrastruktury procesowej**. Ich istotą jest przejście od badań materiałowych do demonstracji rozwiązań o podwyższonym poziomie gotowości technologicznej (TRL co najmniej 5 a często 7).

Opracowanie i walidacja prototypu modułu termoelektrycznego z materiałów własnej syntezy potwierdziły możliwość integracji wyników badań nad mikrostrukturą i właściwościami transportowymi z projektowaniem konstrukcji urządzeń. Zastosowanie modelowania numerycznego umożliwiło optymalizację układu warstwowego pod kątem



niezawodności mechanicznej, co stanowi przykład nowoczesnego podejścia do inżynierii materiałowej łączącej właściwości funkcjonalne z analizą naprężeń i trwałości. Rozwój technologii łączenia, w tym stanowiska do lutowania indukcyjnego w kontrolowanej atmosferze, oraz opracowanie barier dyfuzyjnych na bazie układów Co-W, Co-Cr i Co-Ni, **wniosły istotny wkład w zagadnienia stabilności międzyfazowej w podwyższonej temperaturze**. Uzyskane rozwiązania, **potwierdzone testami przyspieszonymi oraz zgłoszeniami patentowymi, odpowiadają na kluczowy problem trwałości modułów termoelektrycznych** i wpisują się w nurt inżynierii materiałów wielowarstwowych. Równolegle przeprowadzone modyfikacje systemu PPS, obejmujące zwiększenie niezawodności układu ignitronowego oraz skalowanie procesu do większych wymiarów i liczby próbek, rozszerzyły możliwości technologiczne w zakresie szybkiej konsolidacji materiałów. Zapewnienie powtarzalności parametrów, jednorodności struktury oraz bezpieczeństwa operacyjnego stanowi istotny element transferu technologii z poziomu laboratoryjnego do półtechnicznego.

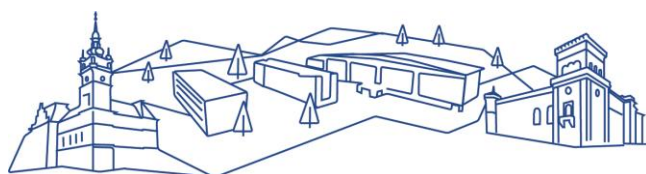
Podsumowując, wszystkie wymienione osiągnięcia przyczyniły się do rozwoju inżynierii materiałowej poprzez integrację projektowania materiałów funkcjonalnych z inżynierią procesów i konstrukcją urządzeń, zwiększając poziom gotowości technologicznej materiałów termoelektrycznych oraz ich potencjał aplikacyjny w systemach konwersji energii.

WSKAŹNIKI BIBLIOMETRYCZNE

Dane naukometryczne (podane przed wnioskodawcą) **nie budzą moich zastrzeżeń**. Sumaryczny Impact Factor dla wszystkich publikacji w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej to **119,566**. Liczba cytowań publikacji to **566** (bez autocytowań) **indeks Hirscha 13**. Uważam że są adekwatne do dyscypliny oraz okresu w jakim habilitant zajmował się badaniami.

UDZIAŁ W PROJEKTACH BADAWCZYCH i POPULARYZACJA BADAŃ

W odniesieniu do udziału habilitanta w uczestnictwa w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych doktor **Mirostaw Jakub Kruszewski** brał udział w realizacji **10 projektów badawczych**.



W 4 z nich był kierownikiem w pozostałych wykonawcą. Projekty zrealizowano w latach 2013 do 2025 przy czym **6 z nich po doktoracie**.

Odbył także 2 zagraniczne staże naukowe jeden przed a drugi po doktoracie.

Habilitant uczestniczył w 19 konferencjach na których prezentował postery ale co ważne miał także **8 wystąpień w formie referatów oraz dodatkowo jeden wykład na zaproszenie**. Dzięki temu dał się poznać szerokiej grupie badaczy. Ponadto jest członkiem trzech towarzystw naukowych tj. *International Thermoelectric Society*, *The Minerals, Metals & Materials Society* oraz *European Thermoelectric Society*.

PODSUMOWANIE

Zgodnie z zapisami ustawy do postępowania habilitacyjnego może zostać dopuszczona osoba, która posiada stopień doktora oraz osiągnięcia naukowe lub artystyczne, uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiące znaczny wkład autora w rozwój określonej dyscypliny naukowej.

Przedstawiony do oceny cykl 8 powiązanych tematycznie ze sobą publikacji, 2 patentów (4 zgłoszeń) oraz 5 zrealizowanych oryginalnych osiągnięć projektowych, konstrukcyjnych i technologicznych **stanowią osiągnięcie o którym mówi ustawa**.

Na podstawie przedstawionych i sparametryzowanych osiągnięć doktora Mirosława Jakuba Kruszewskiego uważam, iż **są one wystarczające do uzyskania stopnia doktora habilitowanego**. Warto podkreślić, iż na każdym polu swojej działalności habilitant wykazywał się odpowiednim zaangażowaniem. Opublikował więcej artykułów naukowych w okresie po doktoracie. Dane naukowe takie jak indeks Hirscha 13 oraz 566 cytowań są w pełni adekwatne do czasu pracy i dyscypliny naukowej.

Ponadto wszystkie wymienione powyżej osiągnięcia i aktywności habilitanta składają się na obraz naukowca, który samodzielnie prowadzi badania naukowe oraz uczestniczy w projektach badawczych. Wyniki jego prac badawczych przyczyniły się do **pogłębienia wiedzy w dziedzinie inżynieria materiałowa**.

W mojej opinii osiągnięcia doktora Mirosława Jakuba Kruszewskiego **stanowią znaczący wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa**.



Mając na względzie powyższe wnoszę o nadanie stopnia doktora habilitowanego Panu dr Mirosławowi Jakubowi Kruszewskiemu w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.



.....
16.02.2025

Kazimierz Drabczyk

